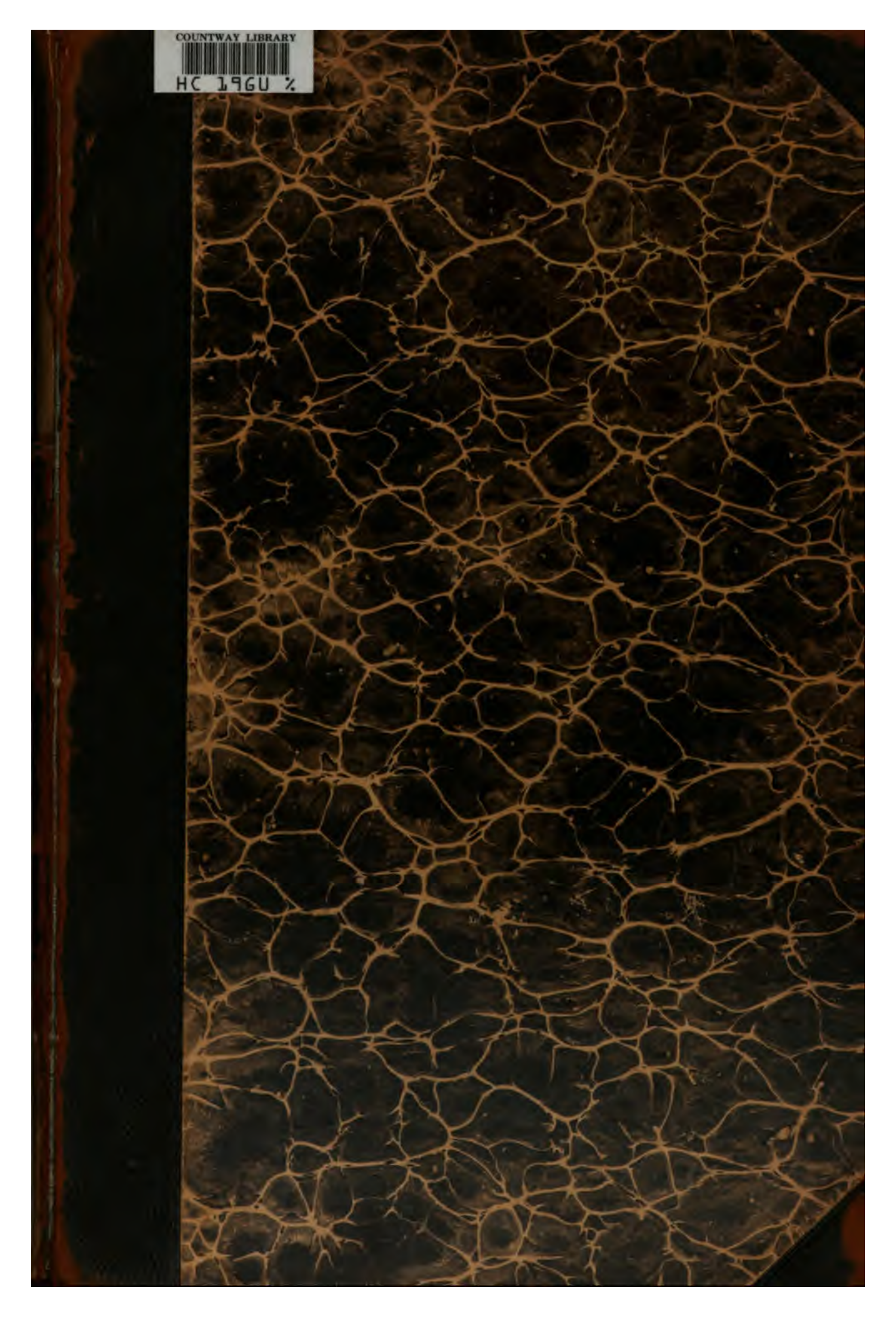
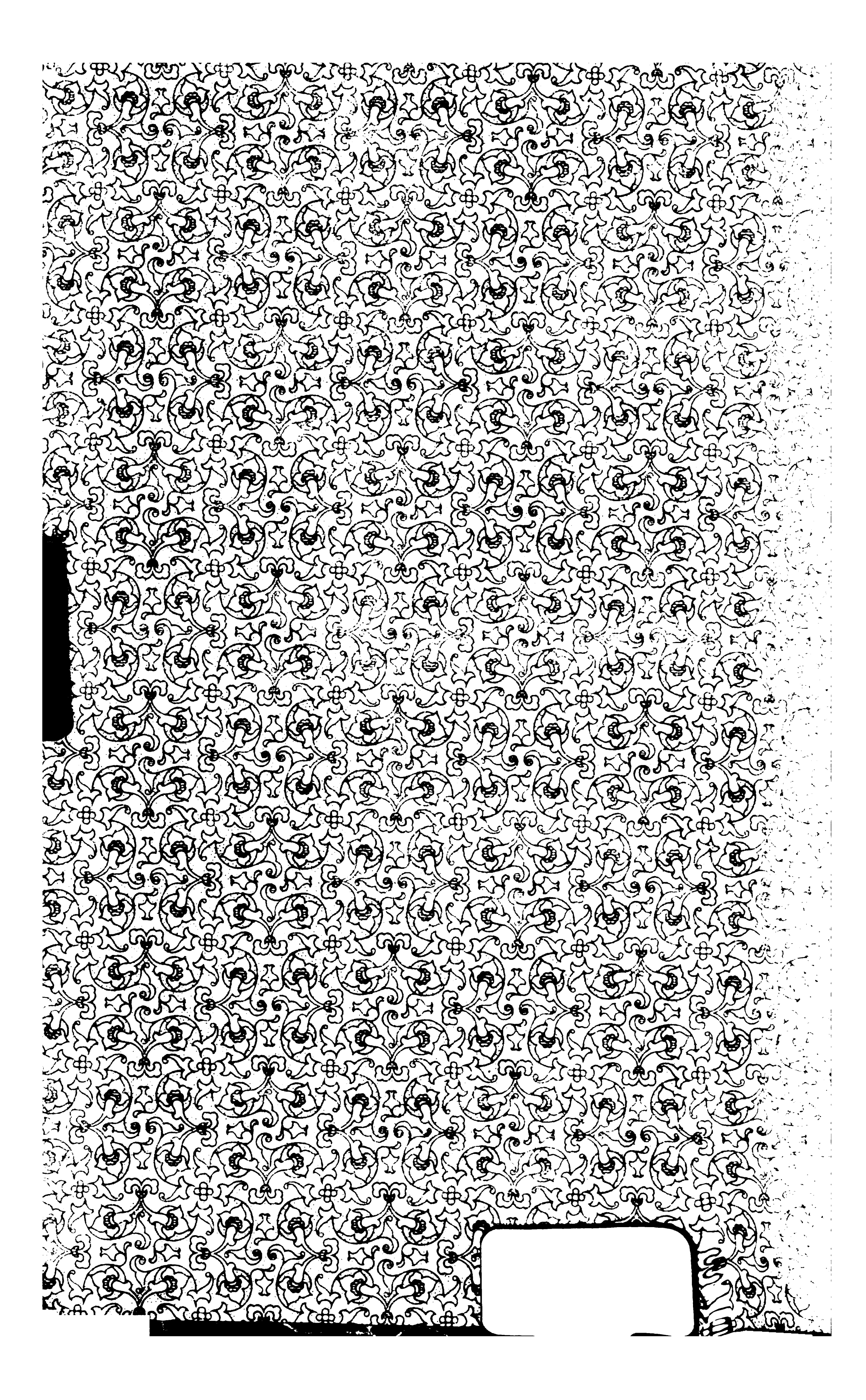
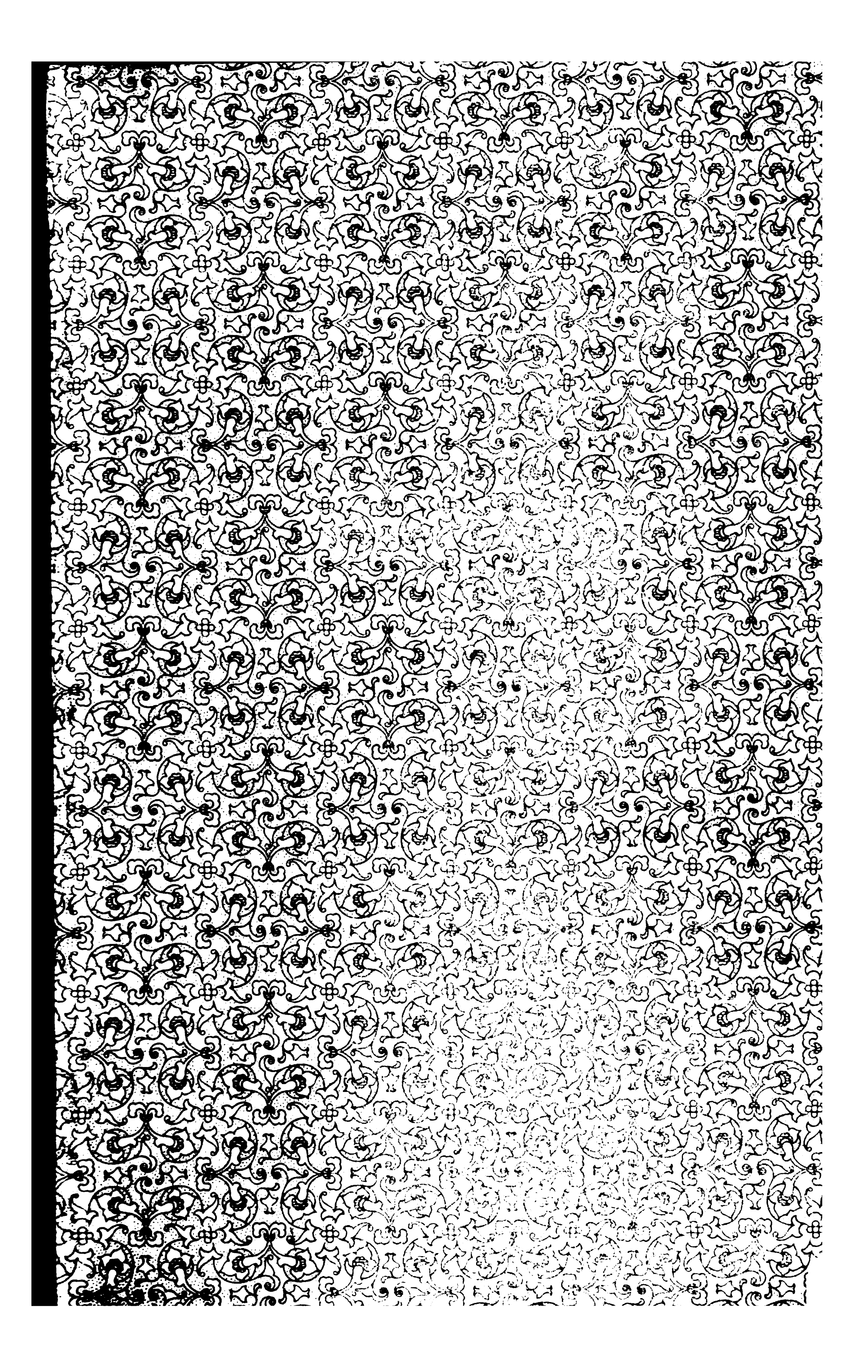
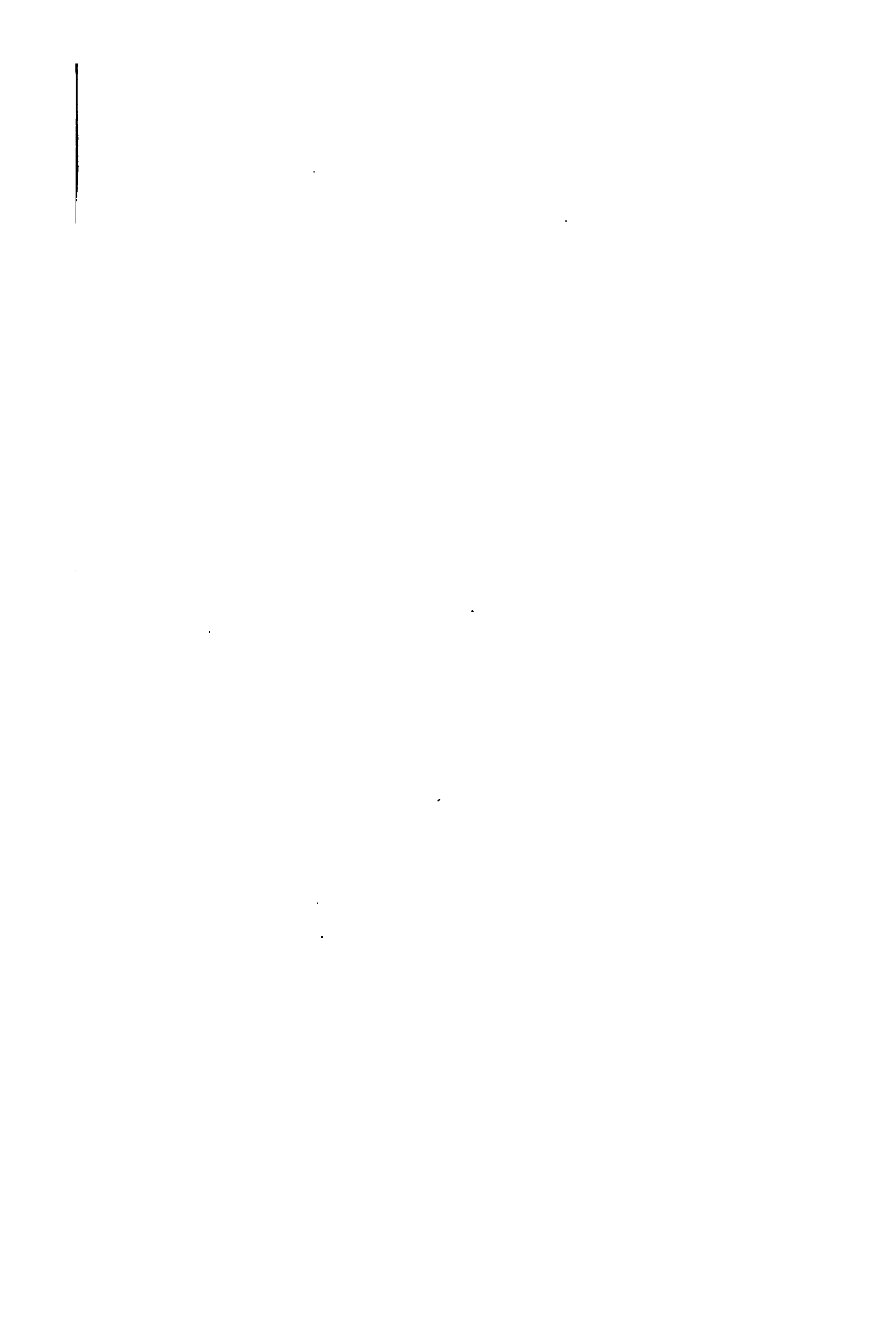

COUNTWAY LIBRARY
HC 19GU %







PHYSIOLOGISCHE GRAPHIK.

PHYSIOLOGISCHE GRAPHIK.

EIN LEITFADEN

DER

IN DER PHYSIOLOGIE GEBRÄUCHLICHEN

REGISTRIRMETHODEN.

VON

Dr. O. LANGENDORFF,

A. O. PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT KÖNIGSBERG.

LEIPZIG UND WIEN.

FRANZ DEUTICKE.

1891.

Vorwort.

Die vorliegende Schrift ist aus Vorlesungen und praktischen Übungscursen entstanden, die ich mehrere Jahre lang an der Königsberger Universität gehalten habe. Der Plan des Buches lag seit sieben Jahren fertig vor. Immer wieder zögerte ich, meinen Kräften misstrauend, die Ausarbeitung desselben zu unternehmen. Endlich siegte die Zuversicht, dass selbst eine unvollkommene Behandlung des Stoffes willkommen und nützlich sein könnte; es siegte schliesslich die Lust, das Begonnene weiter zu führen und zum Abschluss zu bringen.

Vielleicht wäre mancher Andere unter meinen Fachgenossen, dem reichere persönliche Erfahrungen und die Mittel eines grossartiger ausgestatteten Laboratoriums zur Verfügung stehen, geeigneter gewesen, ein Buch dieser Art zu schreiben. Man wird aber eine geringe Gabe nicht deshalb verschmähen, weil ein Anderer eine reichere hätte bieten können.

Ich wollte und konnte nur das geben, was ich selbst in mehr als fünfzehnjähriger physiologischer Arbeit gelernt und erfahren hatte. Mit sehr wenigen Ausnahmen habe ich deshalb nur solche Methoden behandelt, die ich theils bei eigenen Untersuchungen und solchen meiner Schüler genauer kennen gelernt, theils im physiologischen Practicum vielfach erprobt hatte. Mir weniger geläufige Untersuchungsweisen habe ich nur aufgenommen, wenn sie sich in der Hand Anderer als vollständig sicher und brauchbar erwiesen hatten. In dieser Auswahl liegt ein Vorzug und zugleich ein Mangel, ein Vorzug insofern, als dem Leser nur Zuverlässiges dargeboten wurde, ein Mangel deshalb, weil bei dieser Art der Stoffbehandlung von Vollständigkeit nicht die Rede sein konnte.

Eine solche anzustreben, lag aber überhaupt nicht in meiner Absicht. Was mir bei der Abfassung dieses Buches vorschwebte, das

war, einen möglichst kurz gefassten Abriss des Wissenswerthesten aus der physiologischen Registrirmethodik zu geben, welcher dem Lernenden zur Orientirung und zur Auffrischung des im Laboratorium Gelernten dienen, dem Forschenden eine Übersicht über die besten der bisher zur Anwendung gelangten Hilfsmittel und eine Darstellung ihrer Gebrauchsweise darbieten sollte.

Eingedenk des Satzes: — „Ein Werdender wird immer dankbar sein" glaubte ich besonders den Bedürfnissen derjenigen jüngeren Forscher entgegen zu kommen, die sich anschicken, den Pfad physiologischer Untersuchung selbständig zu betreten, und die durch einen gewissenhaften Führer vor manchem Umweg und Irrweg, vor manchem Zeitverlust und mancher Enttäuschung bewahrt werden können.

Der physiologische Fachmann freilich braucht für sich selbst ein solches Buch nicht. Die allgemeinen Auseinandersetzungen, denen ein grosser Theil desselben gewidmet sein muss, sind für ihn überflüssig, die wichtigsten registrirenden Instrumente kennt er aus eigenem Gebrauch; bei seiner Forschungsarbeit wird er zur Beantwortung neuer Fragen sich selber neue Methoden ersinnen. Vielleicht täusche ich mich aber nicht, wenn ich annehme, dass auch ihm zu Unterrichtszwecken ein systematischer Leitfaden der gebräuchlichsten Methoden erwünscht sein könnte. Fast überall bricht sich jetzt die Überzeugung Bahn, dass jeder Medicin Studirende nicht nur physiologische Vorlesungen hören, sondern dass er mindestens ein Semester lang auch physiologischen Übungscursen, und zwar nicht nur mikroskopischen und physiologisch-chemischen, beiwohnen sollte. Der Nutzen solcher Übungen, in denen jeder Student selber die gebräuchlichsten physiologischen Werkzeuge in die Hand bekommt, in denen ihm Gelegenheit geboten wird, aus nächster Nähe ein Säugethierherz pulsiren, das Zwerchfell eines lebenden Thieres ab- und aufsteigen zu sehen, in denen ihm die nähere Bekanntschaft mit dem zu bewunderungswürdiger Schärfe ausgebildeten Forschungsapparat der allgemeinen Muskel- und Nervenphysik vermittelt wird, — der Nutzen davon liegt zu sehr auf der Hand, als dass er noch besonders hervorgehoben werden müsste. In solchen Cursen spielt nothgedrungen die graphische Methode eine grosse Rolle. Es ist hier unerlässlich, die Lernenden mit myographischen und pulszeichnenden Instrumenten, mit dem Kardiographen, mit den zur Registrirung des Blutdruckes dienenden Hilfsmitteln bekannt zu machen. Natürlich thut hier das Beste die mündliche und praktische Unterweisung. Vielleicht ist aber auch ein Leitfaden, an welchen der

Lehrer anknüpfen, den man dem Studirenden zur Vorbereitung in die Hand geben kann, nicht ohne Nutzen.

Das Buch wendet sich endlich und nicht an letzter Stelle an diejenigen Mediciner, die, ohne selbst Physiologen zu sein und ohne selbst schöpferisch am Weiterbau der physiologischen Methodik theilnehmen zu wollen, doch fast tagtäglich in die Lage kommen, von den physiologischen Forschungs- und Untersuchungsmitteln, und zwar in erster Linie wohl von den Registririnstrumenten Gebrauch zu machen, also vor Allem an die experimentirenden Kliniker und Pathologen, an die Toxikologen und Pharmakologen.

Ob mir mein Vorhaben gelungen, ob das Buch zu den angegebenen Zwecken brauchbar ist, wird die Zukunft lehren.

Es könnte Manchem scheinen, dass eine Einzeldarstellung der physiologischen Registrirmethoden eine Ilias post Homerum sein müsse, nachdem Marey in seiner grossen Méthode graphique von seinen reichen Erfahrungen und Erfindungen ein so schönes und klares Bild gegeben hat. Mit diesem Werk des französischen Meisters bitte ich das vorliegende nicht zu vergleichen. Sein Buch ist mehr ein Originalwerk als ein Leitfaden; indem der Verfasser in ihm seine vielseitigen Forschungsergebnisse auf dem Gebiete der Graphik niederlegte, sind die Methoden anderer Autoren und anderer Laboratorien vielfach zu kurz gekommen. Auch ist sein Buch zu umfangreich für den Handgebrauch; neben der physiologischen Graphik ist die naturwissenschaftliche Anwendung der Registrirmethoden in ihrem ganzen Umfang ausführlich dargestellt worden. Mein Buch hat sich andere Grenzen gesteckt. Dass ich mich aber bei aller Selbständigkeit in der Auswahl, Darstellung und kritischen Behandlung des Stoffes ausser an andere, besonders deutsche Physiologen oft an Marey anlehnen konnte und musste, ist begreiflich. Wie konnte das anders sein bei dem Werk eines Forschers, dem ein so bedeutender Antheil an der Ausbildung der graphischen Methode zukommt!

Mit Abbildungen ist in dem vorliegenden Buche nicht gekargt worden. Eine gute Abbildung kann Seiten voll Text ersetzen. Die Zeichnungen sind meistens nach den Originalapparaten unter meiner Aufsicht von Herrn Maler Sahm entworfen worden; ich hoffe, dass sie den Bedürfnissen entsprechen werden. Ein Theil der Figuren musste fremden Autoren entlehnt werden. Es geschah dies in solchen Fällen, in denen mir entweder der Originalapparat nicht zur Verfügung stand, oder dann, wenn der Erfinder eines Apparates selbst eine so ausgezeichnete bildliche Darstellung davon gegeben hatte, dass es mir nicht möglich gewesen wäre, Besseres zu liefern.

Zur Erläuterung dessen, was die Instrumente leisten, sind mehrfach Curvenzeichnungen in den Text aufgenommen worden; sie stammen meistens aus eigenen Versuchen.

Zum Schluss spreche ich allen Denjenigen meinen herzlichsten Dank aus, welche mir bei der Abfassung des Buches förderlich gewesen sind.

Der Verfasser.

Inhalts-Übersicht.

Allgemeiner Theil.

Erster Abschnitt.

Zweiter Abschnitt.

Dritter Abschnitt.

Vierter Abschnitt.

Fünfter Abschnitt.

Sechster Abschnitt.

Specieller Theil.

Erster Abschnitt.

Zweiter Abschnitt.

Dritter Abschnitt.

Vierter Abschnitt.

Allgemeiner Theil.

Allgemeiner Theil.

Erster Abschnitt.

Einleitung.

Erstes Capitel.

Begriff und geometrische Darstellung der Functionen.

Die Physiologie stellt sich in erster Linie die Aufgabe, die Erscheinungen des thierischen Lebens festzustellen und die Gesetze kennen zu lernen, nach denen sie ablaufen. In zweiter Reihe bemüht sie sich, die chemischen und physikalischen Vorgänge zu erkennen, die den Lebenserscheinungen zu Grunde liegen, und dadurch diese zu erklären. Zur Kenntnis einer Erscheinung gelangt man durch die Beobachtung und durch das Experiment. Die einfache Beobachtung, selbst wenn sie durch vivisectorische Eingriffe unterstützt und mit allen unsere Sinne schärfenden und ergänzenden Hilfsmitteln ausgeführt wird, belehrt nur darüber, wie sich die Grösse und der Verlauf einer Erscheinung unter der Einwirkung einer gewissen Summe zufällig vorhandener Umstände gestaltet. Das Experiment dagegen setzt willkürlich bestimmte Bedingungen und variirt dieselben. Eine planmässige Variirung der Bedingungen kann zu einer sehr genauen Kenntnis vom Wesen einer Lebenserscheinung führen.

Lassen wir bei der Untersuchung einer solchen in einer Versuchsreihe alle Bedingungen, die auf sie von Einfluss sind, bis auf eine unverändert bleiben, diese eine aber der Reihe nach eine grössere Zahl derjenigen Werthe annehmen, deren sie fähig ist, und stellen wir fest, wie dabei jedesmal die Erscheinung sich ändert, so gewinnen wir dadurch eine möglichst vollständige Einsicht in das Gesetz, nach welchem die studirte Grösse von der willkürlich veränderten abhängt. Wiederholen wir dasselbe Verfahren mit den anderen Umständen, die auf den Vorgang Einfluss nehmen, so lernen wir die untersuchte Erscheinung von den verschiedensten Gesichtspunkten aus kennen, lernen damit, die Form oder die verschiedenen Formen verstehen, unter welchen sie dem Beobachter im lebenden Organismus unter den natürlichen Bedingungen entgegentritt, und bahnen ihre Erklärung an.

Wenn zwei veränderliche Grössen x und y zu einander in solchen Beziehungen stehen, dass Veränderungen von x auch Veränderungen der Grösse y hervorrufen, so bezeichnet man y bekanntlich als eine Function von x. Der Werth der einen Grösse bestimmt den Werth der anderen. Ist x als eine willkürlich variable Grösse gedacht, so ist y als die abhängig Veränderliche zu bezeichnen. Beim Studium einer physiologischen Erscheinung betrachtet man dieselbe also als Function der auf sie Einfluss nehmenden Bedingungen.

Das Verhältnis zweier variabler Grössen zu einander kann man geometrisch ausdrücken durch eine Curve, zu deren Darstellung man in folgender Weise gelangt.

Es seien $x^1, x^2, x^3, x^4 \ldots x^n$ die Werthe, die man der Grösse x der Reihe nach gegeben hat; ihnen mögen die Werthe $y^1, y^2, y^3 \ldots y^n$ der abhängig Veränderlichen entsprechen. Diese Grössen denkt man sich dargestellt in der Form von Längenwerthen, indem man gleich grossen Werthen gleiche Strecken, doppelt so grossen doppelte u. s. w. entsprechen lässt, und indem man sich für die x-Werthe wie für die y-Werthe einer beliebigen Längeneinheit bedient. Diese Längen trägt man in ein Coordinatensystem ein, wie dies Fig. 1 darstellt. Die aufeinander senkrechten, sich im Punkte o schneidenden geraden Linien bezeichnet man als Coordinatenaxen, und zwar die horizontale Linie als Abscissenaxe oder Abscissenlinie, die vertikale als Ordinatenaxe. Auf der ersteren seien nun die x-Werthe, auf der letzteren die y-Werthe vom Nullpunkt aus abgetragen, so zwar, dass die Grössen 0 1, 0 2, 0 3 . . . . auf der Horizontalen den aufeinander folgenden Werthen von x, und 0 I, 0 II, 0 III . . . . auf der Ordinatenaxe den aufeinanderfolgenden Werthen von y entsprechen.

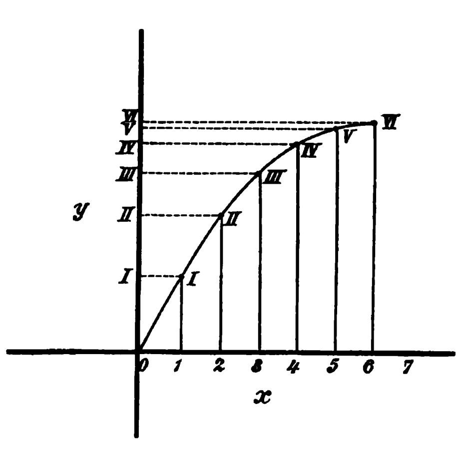


Fig. 1.

Die aufeinander folgenden *x*-Werthe (0 1, 0 2...) bezeichnet man dann als Abscissen, die *y*-Werthe als Ordinaten. Denkt man sich jetzt auf den einzelnen Abscissenpunkten Senkrechte errich-

tet und diese so weit verlängert, dass jede sich mit einer durch den entsprechenden Ordinatenpunkt gelegten Parallelen zur Abscissenaxe schneidet, so erhält man dadurch eine Reihe von verticalen Linien, deren eine jede die Ordinatenhöhe für den betreffenden Punkt der Abscissenaxe, d. h. die Grösse der abhängig Veränderlichen für den entsprechenden Abscissenwerth, darstellt. 1 I ist also die zur Abscisse 0 1 gehörige Ordinate, 2 II gehört zu 0 2, 3 III zu 0 3 u. s. f.

Durch eine Abscisse mit der zu ihr gehörigen Ordinate ist somit die Lage eines Punktes bestimmt. Man nennt diese Linien die Coordinaten des Punktes.

Nehmen wir nun an, die Zahl der ausgeführten Messungen sei eine sehr grosse gewesen, Ordinate liege dicht an Ordinate, so ist ersichtlich, dass es nicht schwer fallen kann, die durch ihre Coordinaten bestimmten Punkte durch eine fortlaufende Linie zu verbinden. Dieselbe wird im Allgemeinen einen gekrümmten Verlauf haben. Sie ist die Curve, welche die zwischen x und y herrschenden Beziehungen ausdrückt.

Aus einer solchen Curve lässt sich der jedem beliebigen Werthe der einen Grösse zugehörende Werth der anderen ohne Weiteres erkennen. Will man wissen, welche Grösse von y einem bestimmten x-Werthe entspricht, so errichtet man in dem betreffenden Abscissenpunkte eine Senkrechte und verlängert diese bis zum Durchschnitt mit der Curve. Ihre Länge entspricht der gesuchten Ordinate.

Die Betrachtung einer solchen Curve belehrt ohne Weiteres darüber, ob mit der untersuchten Veränderlichen die Function wächst oder abnimmt, ob sie sich schneller oder langsamer verändert, als diese, oder ob sie proportionale Veränderungen erfährt. In manchen Fällen wird es gelingen, auf Grund messender Versuche eine Curve zu construiren, welche das mathematische Gesetz, nach welchem die eine der untersuchten Grössen von der andern abhängt, deutlich zu erkennen gibt. Freilich wird man bei physiologischen Untersuchungen nur äusserst selten in diese Lage kommen. Dazu sind die organischen Vorgänge in der Regel zu complicirt. Ja es ist im allgemeinen vor der Aufstellung von Curvengleichungen hier geradezu zu warnen.[1])

Stets aber wird man durch die graphische Darstellung einer Versuchs- oder Beobachtungsreihe zu einem so klaren und so leicht zu überblickenden Ausdruck ihrer Ergebnisse gelangen, wie ihn die saubersten Zahlentabellen nimmer zu geben vermöchten.

Je mehr Einzelbestimmungen in einer Versuchsreihe gemacht, je mehr Ordinaten also gemessen sind, desto treuer wird die Curve die

[1]) Die Theorie der Curven wird im letzten Abschnitt dieses Theiles behandelt werden.

wahren Verhältnisse ausdrücken. Steht aber nur eine kleine Zahl von Bestimmungen zu Gebote, und zieht man hier die Curve aus, so kann es sich leicht ereignen, dass gewisse Verhältnisse, die eine grössere Häufung der Messungen aufgedeckt hätte, in ihr gar nicht zum Ausdruck kommen. Die in Fig. 1 ausgezogene Curve hätte vielleicht eine ganz andere, weit weniger einfache Gestalt gewommen, wenn ausser den gezeichneten Ordinaten noch einige zwischen ihnen gelegene gemessen worden wären.

Es ist in solchen Fällen sehr wünschenswerth, dass die gewonnene Zeichnung die Zahl und die Lage der wirklich bestimmten Ordinaten erkennen lässt. In der That begnügt man sich oft damit, die Endpunkte der gemessenen Ordinaten durch kurze gerade Linien zu verbinden. Die so gewonnene vielfach gebrochene Linie gibt dann nur eine annähernde Vorstellung von den gegenseitigen Beziehungen der untersuchten Grössen, ist aber ein treuer Ausdruck des wirklich Beobachteten. Der sprungweise Ordinatenwechsel soll hier nicht ausdrücken, dass die Function sich sprungweise geändert hat; sondern nur, dass man darauf verzichtet hat, eine Hypothese über den Werth der stetig sich ändernden Zwischenglieder aufzustellen. In vielen Fällen hat es keine Schwierigkeit, eine derartige unvollkommene Curve durch graphische Interpolation in eine mit bogenförmig gekrümmtem Verlauf umzugestalten. Eine solche hypothetische Curve kommt der Wahrheit um so näher, je näher die wirklich gemessenen Ordinaten aneinander liegen.

In Fig. 1 sind die Abscissen nach rechts vom Nullpunkt, die Ordinaten nach oben abgetragen. Man ist übereingekommen, solche als positive Abscissen und Ordinaten zu bezeichnen. Eine Abscisse, die nach links gerichtet wäre, entspräche in einem solchen System einem negativen Werthe der betreffenden Grösse, und ebenso wäre eine unter der Abscissenaxe gelegene Ordinate als negativ zu bezeichnen. (S. Fig. 2).

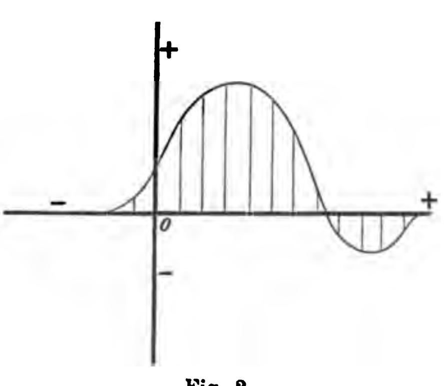


Fig. 2.

Doch ist eine solche Bezeichungsweise nur conventionell. Man könnte ebensogut die nach links vom Nullpunkt gelegenen Abscissen und die nach unten gerichteten Ordinaten positiv nennen; natürlich wären dann die in entgegengesetzter Richtung abgetragenen Werthe negativ.

Zweites Capitel.

Graphische Beispiele.

Die graphische Darstellung des gegenseitigen Verhältnisses variabler Grössen hat sich in Wissenschaft und Praxis so eingebürgert, dass es unnöthig erscheinen könnte, die Uebersichtlichkeit und Anschaulichkeit derselben durch Beispiele darzuthun. Dennoch mögen einige wenige solcher Beispiele hier Platz finden, weil sie geeignet sein dürften, die Bedeutsamkeit des später zu behandelnden Verfahrens der Selbstregistrirung in das rechte Licht zu setzen.

Es seien zunächst die einer Beobachtungsreihe zu Grunde liegenden variablen Grössen Längenwerthe. Bei der Darstellung der durch den Versuch ermittelten Grössen durch Längen, wie sie die graphische Aufzeichnung erfordert, hat man hier nur nöthig, die im Versuch wirklich benutzten Längeneinheiten durch willkürliche zu ersetzen.

In einem Druckgefäss befinde sich eine Wassersäule von 60 *cm* Höhe. Das Gefäss habe nahe seinem Boden eine Ausflussöffnung, an die ein langes horizontales, an seinem Ende offenes Glasrohr angeschlossen sei. In dieses seien von 10 zu 10 *cm* vertikale Steigröhren eingesetzt. Die Höhen der in diesen aufsteigenden Flüssigkeitssäulen geben an, wie hoch an der betreffenden Stelle der Seitendruck der ausfliessenden Flüssigkeit ist. Man habe durch die Beobachtung folgende Werthe erhalten:

Höhe der Flüssigkeitssäule in 0 *cm* Entfernung von Druckgefäss (also im Druckgefäss selbst) = 60 *cm*.

Höhe der Flüssigkeitssäule in 10 *cm* Entfernung = 48 *cm*.
„ „ „ in 20 *cm* „ = 36 *cm*.
„ „ „ in 30 *cm* „ = 24 *cm*.
„ „ „ in 40 *cm* „ = 12 *cm*.
„ „ „ in 50 *cm* „ = 0 *cm*.

Will man diese Werthe in ein Coordinatensystem eintragen, so bedient man sich am zweckmässigsten sogenannten Coordinatenpapiers (Millimeterpapier, Skizzir- oder Croquirpapier), das mit einem Netzwerk äquidistanter Horizontal- und Verticallinien überzogen ist.

Auf solchem Papier errichtet man eine Abscissenaxe und eine senkrecht auf ihr stehende Ordinatenaxe.

Auf der ersteren wird man jetzt die Länge der Ausflussröhre abzutragen haben. Es entspreche auf ihr 1 *cm* stets 10 *cm* der Ausflussröhre. Auf der Ordinatenaxe sind die Flüssigkeitshöhen zu ver-

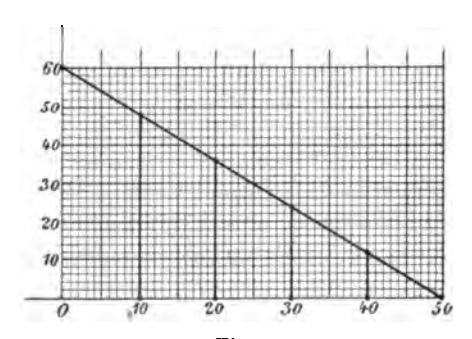


Fig. 3.
Seitendruck in einer durchströmten Röhre.

zeichnen. Ein Millimeter derselben möge 2 *cm* Druckhöhe entsprechen. Errichtet man jetzt in den Theilpunkten der Abscissenaxe die den entsprechenden Abscissenwerthen zugehörigen Ordinaten, also bei 0 = 60, bei 10 = 48 . . . . . u. s. f., und verbindet man die Endpunkte der letzteren mit einander, so erhält man eine Curve, welche die Druckhöhe als Function der Entfernung vom Druckgefäss darstellt. Diese Curve ist hier eine gerade Linie, wodurch, wie leicht ersichtlich, ausgedrückt ist, dass die Seitendruckhöhen in derselben Proportion abnehmen, wie die Entfernungen vom Druckgefäss wachsen. Nähmen sie schneller ab, so würde eine zur Abscisse concave, nähmen sie langsamer ab, eine zu ihr convexe Curve entstanden sein.

In diesem Beispiel drückten Abscissen wie Ordinaten wirklich Längen aus. In Fig. 4 dagegen sind zwar die Abscissen Längen, die Ordinaten aber sollen Flächenwerthen entsprechen.

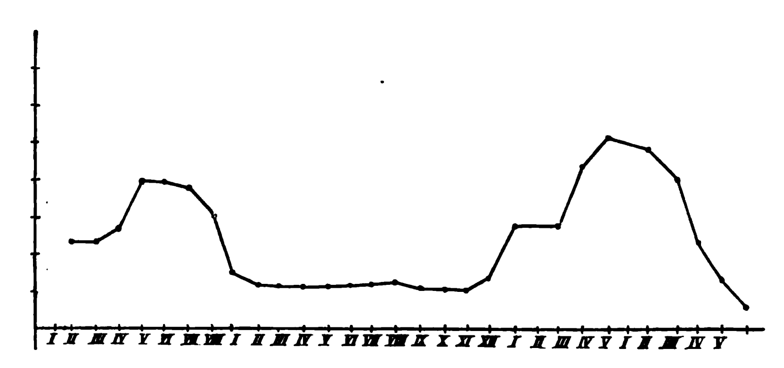


Fig. 4.
Ausdehnung der grauen Substanz im Rückenmark (nach Woroschiloff).

Woroschiloff hat aus den Messungen von Stilling Curven construirt, in denen die mit den einzelnen Rückenmarkhöhen wechselnde Entwickelung einzelner Abtheilungen der weissen sowie die Flächenentfaltung der grauen Substanz dargestellt ist. Die in Fig. 4 (mit einer kleinen Abänderung) mitgetheilte Curve stellt die den

verschiedenen Wurzelaustritten entsprechenden Flächen der grauen Substanz dar. Die Abscissenaxe ist den Wurzelaustritten gemäss eingetheilt, und ein Millimeter Ordinatenhöhe entspricht einem Quadratcentimeter grauer Fläche.

Nichts kann übersichtlicher und verständlicher sein, als diese Darstellung, die auf den ersten Blick erkennen lässt, dass an gewissen Stellen der Rückenmarkaxe die Masse der grauen Substanz eine Vermehrung erfährt, dass sie das eine Mal unter dem 5. Halswirbel, das andere Mal am Ende des Lendenmarkes ein Maximum hat, während das Dorsalmark eine nur geringe Entfaltung der grauen Massen aufweist.

Anstatt Längenwerthen zu entsprechen, können aber sowohl Abscissen als Ordinaten auch Grössen ganz beliebiger Art zum Ausdruck dienen. Als Beispiel sei Fig. 5 angeführt.

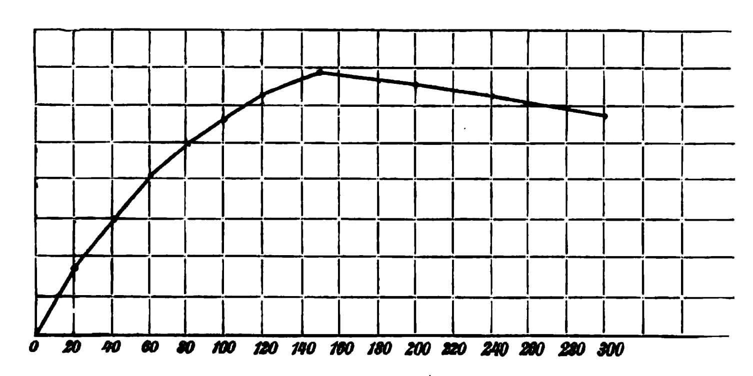


Fig. 5.
Mechan'sche Arbeit eines sich zusammenziehenden Muskels als Function der Belastung

In dieser Zeichnung sind (nach einem Versuch von Heidenhain) die Veränderungen dargestellt, die bei wechselnder Belastung eines Froschmuskels die mechanische Arbeitsleistung erfährt; die Curve stellt also den Nutzeffect eines sich zusammenziehenden Muskels als Function des ihn belastenden Gewichtes dar. Die Abscissen entsprechen den Belastungen (5 *mm* Abscisse = 20 *grm*); ein Millimeter Ordinate entspricht einer Arbeitsleistung von 0·5 *grmcm.* Man erkennt, dass der Nutzeffect bei wachsender Belastung anfangs schneller, später langsamer bis zu einem Maximum ansteigt, von da an aber bei weiter wachsenden Lasten absinkt.

In ganz analoger Weise hätte man über derselben Abscisse als Ordinaten die den betreffenden Belastungen entsprechenden Hubhöhen

sowie die im Muskel bei jeder Zuckung eingetretene Temperaturzunahme auftragen, und somit mechanische und thermische Arbeit und Verkürzungsgrösse des Muskels als Function der Belastung durch Curven darstellen können. Es liegt auf der Hand, dass combinirte Zeichnungen dieser Art sehr lehrreich sein müssen; man entnimmt aus ihnen unmittelbar, ob die untersuchten Functionen sich in gleicher oder in verschiedener Weise geändert haben; im vorliegenden Falle würde man z. B. sofort wissen, ob die Wärmebildung der mechanischen Arbeit parallel gegangen ist oder nicht.

In ähnlicher Art kann man die Schlagzahl des Herzens als Function der Körpertemperatur darstellen, die Athmungsfrequenz und die Athmungsgrösse als Function des Sauerstoff- oder des Kohlensäuregehaltes der Athmungsluft, die Empfindungsstärke der hypothetischen Fasergattungen der Netzhaut als Function der Wellenlänge des Lichtes, die verdauende Kraft eines künstlichen Magensaftes als Function seines Pepsin- oder Säuregehaltes u. s. w.

Ein bei physiologischen Untersuchungen sehr häufiges Vorkommnis ist es, dass man die Variationen einer Lebenserscheinung nach der Zeit betrachtet. Man will ermitteln, welchen Einfluss die fortschreitende Zeit auf die Grösse einer Erscheinung hat, man will ihren zeitlichen Ablauf kennen lernen.

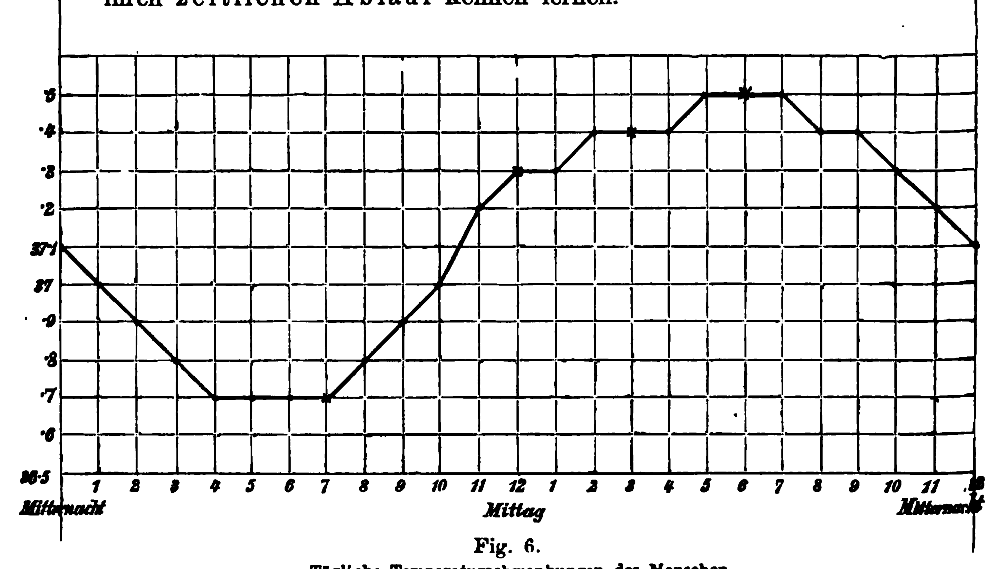


Fig. 6.
Tägliche Temperaturschwankungen des Menschen.
(Die mit * bezeichneten Stellen entsprechen den Mahlzeiten.)

Fig. 6 gibt ein Beispiel dafür, wie nützlich auch hier zur Uebersehung der durch die Beobachtung gewonnenen Daten ihre graphische

Darstellung sein kann. Sie illustrirt die täglichen Temperaturschwankungen des Menschen nach Messungen von Jürgensen.

5 *mm* Ordinate entsprechen hier 0·1° C. Man erkennt aus der Curve leicht den abendlichen Abfall der Temperatur, die gegen 4 Uhr Morgens ihr Minimum erreicht; man erkennt das zwischen 5 und 7 Uhr Nachmittags liegende Temperaturmaximum. Mit einem Blick lässt sich hier das Gesetz der täglichen Temperaturvariation übersehen.

Jede Fiebercurve, die der Arzt zeichnet, ist eine Darstellung ähnlicher Art. Ohne weiteres kann aus ihr der Geübte oft genug die Natur der Krankheit erkennen; er übersieht die Wirkung eines Bades, eines dargereichten Arzneimittels; würde ihm eine tabellarische Zusammenstellung der beobachteten Temperaturwerthe vorgelegt, so könnte ihm erst ein eingehendes Studium derselben zu der gleichen Einsicht verhelfen.

Drittes Capitel.

Die Selbstregistrirung.

Wie werthvoll die graphische Darstellung von Beobachtungsergebnissen auch ist, so vermittelt sie in der Regel doch nur eine unvollkommene Kenntnis der untersuchten Erscheinung. Um eine Curve zu erhalten, die das Verhältnis der studirten Grösse zu einer andern variablen völlig genau darstellt, müsste man ungemein viele Ordinatenbestimmungen ausführen. Dieses Verlangen scheitert an den Grenzen unseres Auffassungsvermögens. Wir müssen uns meistens begnügen, eine verhältnismässig kleine Anzahl einander zugeordneter Werthe zu ermitteln. Nehmen wir an, wir wollten den zeitlichen Ablauf einer Erscheinung feststellen. Zu diesem Zwecke bestimmen wir die Grösse der Erscheinung für die verschiedenen aufeinanderfolgenden Zeitpunkte. In den zwischen den Einzelbeobachtungen liegenden Zeiträumen können aber wesentliche Veränderungen eintreten, die unserer Kenntnisnahme entgehen, von denen die dargestellte Curve also auch nichts aufweist. Man denke an ein Quecksilber-Manometer, das, mit dem centralen Ende einer Arterie verbunden, die wechselnde Höhe des Blutdruckes anzeigen soll. Dem aufmerksamsten und geübtesten Beobachter ist es nicht möglich, allen den Schwankungen der Quecksilbersäule ausreichend zu folgen, ihren Werth schnell und oft hintereinander zahlengemäss festzustellen. Man reize nun einen Nerven; die Reizung bedinge zunächst ein kurzdauerndes Absinken des Druckes, dem ein steiler Anstieg folge. Wer möchte sich anheischig machen,

beiden Phasen sicher mit den Augen zu folgen, sie auch nur qualitativ richtig zu schätzen! In der Regel wird man sich darauf beschränken müssen, den Druck in möglichst kurzen Zeiträumen, alle 5 bis 10 Secunden abzulesen. Eine auf Grund solcher Beobachtungen construirte Curve wird nothwendiger Weise nur einen mangelhaften Ausdruck der Erscheinung darstellen. Bald setzt auch die unvermeidliche Ermüdung der Fortsetzung einer solchen Beobachtungsweise ein Ziel.

Gewisse Vorgänge sind so rapide, dass wir selbst bei Anspannung aller unserer natürlichen Mittel ihnen nicht zu folgen im Stande sind. Man denke an die Zuckung eines Muskels. Sie scheint mit Blitzesschnelle sich abzuspielen; kein Beobachter vermöchte sie in ihre aufeinanderfolgenden Phasen aufzulösen.

In solchen und ähnlichen Fällen hat sich die Methode der Selbstregistrirung, von der dieses Werk handeln soll, als eine unschätzbare Helferin erwiesen. Durch sie gelingt es, die Veränderungen der untersuchten Grössen, insbesondere den zeitlichen Ablauf von Bewegungsvorgängen direct in der Form von Curven darzustellen. Hier ist die Forderung unzähliger Ordinaten erfüllt, jede willkürliche Interpolation von Werthen ausgeschlossen. Die Abscissen solcher Curven repräsentiren zunächst die Zeit, der Vorgang erscheint als Function der Zeit; aber indem man eine andere Grösse proportional der Zeit wachsen lässt, gelingt es, den studirten Vorgang auch als Function anderer Grössen sich darstellen zu lassen. Die Ordinaten drücken zunächst zwar nur Bewegungsgrössen aus; aber da man in der Lage ist, Vorgänge sehr verschiedener Art in proportionale Bewegungen umzusetzen, wird es möglich, die mannigfaltigsten Grössen als Function der Zeit oder auch anderer Grössen sich aufzeichnen zu lassen.

Indem die darzustellende Bewegung alle ihre Veränderungen, auch die schnellsten und vorübergehendsten, selbst markirt, indem sie von jeder Zunahme und jeder Abnahme in der Zeit eine deutliche Spur hinterlässt, gibt die erhaltene Curve, unbeeinflusst von den Unvollkommenheiten unserer Sinnesorgane, unbeeinträchtigt von jeder Voreingenommenheit des Beobachters, das treueste Bild von dem Ablauf jener Bewegung, das überhaupt gewonnen werden kann. Sie stellt ein documentarisches Versuchsprotokoll dar, wie es objectiver nicht gedacht werden kann. Sie redet in einer Sprache, die, den Gebildeten aller Zungen verständlich, als eine wissenschaftliche Weltsprache bezeichnet werden könnte. Häufig versieht die graphische Selbstregistrirung zugleich den Dienst eines Mikroskopes, indem sie geringfügige Veränderungen in vergrössertem Massstabe wiedergibt.

In der Meteorologie sind Selbstregistrirvorrichtungen seit der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts im Gebrauch; Ons-en-Bray soll zuerst einen Anemograph benutzt haben, der die Windstärke auf ein bewegtes Papier verzeichnete. Später bedienten sich ihrer die Physiker; vor Allen ist hier Thomas Young zu nennen. Gegenwärtig dürfte von den Physiologen der häufigste Gebrauch von der Selbstregistrirung gemacht werden. Karl Ludwig kommt das unsterbliche Verdienst zu, die physiologische Forschungsweise durch dieses unschätzbare Hilfsmittel bereichert zu haben. Im Jahre 1847 theilte er in wenigen anspruchslosen Worten mit, wie man zu verfahren habe, um die Blutdruckwellen sich selbst graphisch verzeichnen zu lassen. Ihm folgte Helmholtz, der 1850 zum ersten Male die Zuckungs-Curve eines Muskels zeichnete und wenige Jahre darauf sein sinnreiches Myographion beschrieb. Seit jener Zeit ist die graphische Selbstregistrirmethode auf den verschiedensten Gebieten der physiologischen Forschung zum grössten Nutzen derselben verwendet worden. In den Händen von Du Bois-Reymond, Volkmann, Vierordt, Donders u. A. ist sie zu einem der exactesten Werkzeuge geworden, über welche die Physiologie gebietet, und die schönen und genauen graphischen Untersuchungsmethoden von Marey sind über die ganze Welt verbreitet.

Die Freude an dieser Errungenschaft darf nicht getrübt werden durch den Missbrauch, der hier und da etwa mit ihr getrieben wird. Der ernste Forscher wird die graphische Methode nur dort anwenden, wo sie hingehört, und er wird ihre Ergebnisse nur mit jener Kritik verwerthen, die für alle experimentellen Untersuchungen ein nothwendiges Erfordernis ist. Die Wenigen, in deren Hand sie zur Spielerei und zum Decorationsmittel herabzusinken droht, werden ihren Werth niemals zu beeinträchtigen im Stande sein.

Das Princip der Selbstregistrirung beruht darauf, dass die darzustellende Bewegung übertragen wird auf einen Schreibstift, und dass dieser seine Lageveränderungen auf eine an ihm vorübergeführte Fläche aufzeichnet.

Sei f in Fig. 7 eine solche Fläche, die in der Richtung des Pfeiles verschoben werden kann; man nehme an, es sei die Oberfläche einer senkrecht stehenden, durch Russ geschwärzten Glasplatte. $s\ s$ sei eine Schreibvorrichtung, deren Spitze s die Glasplatte berühre. Auf diese wirke die bewegende Kraft in der Richtung von k. Nehmen wir an, es sei die eines vertikal aufgehängten Muskels, der nach einer Einzelreizung sich zusammenzieht und wieder ausdehnt. Bewegt man, während der Muskel ruht, die Platte vorbei, so hinterlässt die

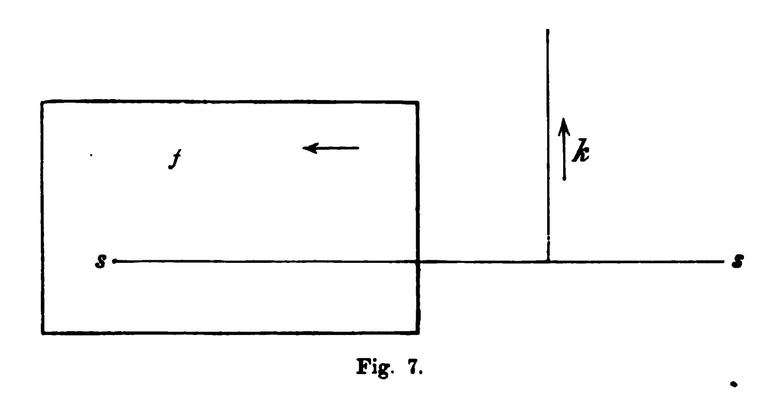


Fig. 7.

Schreibspitze eine horizontale Spurlinie, indem sie an allen den Stellen, die an ihr vorbeigehen, den Russ abkratzt. Diese Linie ist die Ruhelinie, die Abscissenaxe der zu zeichnenden Curve (*a* in Fig. 8). Lässt man umgekehrt die Platte ruhen und regt man den Muskel zu einer Zuckung an, so schreibt die Zeichenspitze, indem sie der Verkürzung des Muskels folgt, eine zur Abscissenaxe Senkrechte, die Ordinatenaxe (*o*.) Bewegt man aber die Platte mit einer gewissen Geschwindigkeit vorbei, während der Muskel gerade eine Zuckung macht, so verzeichnet sich diese in der Form einer Curve, indem die Zeichenspitze ihre einer jeden Phase der Muskelzuckung entsprechende Lage auf einem anderen Punkte der bewegten Fläche markirt. Die zeitlich aufeinander folgenden Veränderungen der Muskellänge werden hier gewissermassen räumlich auseinandergebreitet, indem sich jeder Zeitzuwachs durch einen proportionalen Raumwerth, nämlich durch die von der bewegten Fläche zurückgelegte Strecke darstellt.

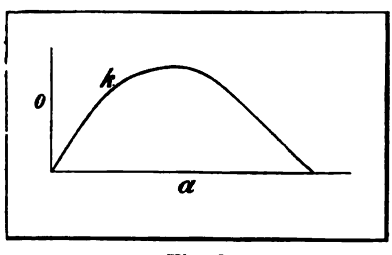


Fig. 8.

Eine solche Curve liefert demgemäss ein genaues Abbild von der bei der Zuckung erst eintretenden Verkürzung und der darauf folgenden Verlängerung des Muskels. Jede ihrer Ordinaten muss dem Verkürzungsgrad entsprechen, der bei dem jedesmaligen Stande der bewegten Fläche erreicht war.

So stellt sich also die Muskelcontraction als Function der Zeit dar, und in ähnlicher Weise kann man viele andere Bewegungen als Function derselben Grösse aufschreiben. Schon oben wurde aber angedeutet, dass nicht nur reine Bewegungserscheinungen sich so in

ihrem Verhältnis zur Zeit betrachten lassen. Wir sind in der Lage, viele anderweitige Vorgänge in Bewegungen umzusetzen und auf diese Weise zu registriren. So kann der auf den Gefässwänden lastende Blutdruck, so können die Veränderungen der Wärmebildung, der Sauerstoffaufnahme und der Kohlensäureproduction, ja sogar elektrische Erscheinungen in den Nerven und Muskeln durch das graphische Registrirverfahren dargestellt werden.

Auch ist man nicht daran gebunden, die studirten Bewegungen nur in ihrer Abhängigkeit von der Zeit zu untersuchen. Lässt man beliebige andere Grössen, die auf die Bewegung Einfluss haben, proportional der Zeit sich ändern, so stellt sich die untersuchte Erscheinung als Function jener Grössen dar. So können die Abscissen Reizstärken, Gewichtsbelastungen, Temperaturen u. s. w. ausdrücken. Dabei ist allerdings die Voraussetzung gemacht, dass die Zeit selbst ohne merklichen Einfluss auf die Grösse der abhängig Veränderlichen gewesen ist. Es ist Sache der experimentellen Kritik, zu entscheiden, ob dies zutrifft oder nicht; im letzteren Falle müssten entsprechende Correctionen gemacht werden. Man sieht, wie man auf diese Weise eine schier unermessliche Zahl von Variablen in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit betrachten kann.

Für alle graphischen Aufzeichnungen bedarf man einerseits einer die Zeichnung aufnehmenden, in Bewegung zu versetzenden Fläche — wir wollen die zu diesem Zwecke benutzten Instrumente unter dem Namen Registrirapparate zusammenfassen; andererseits einer Schreibvorrichtung, welche die Bewegung auf die Registrirfläche zeichnet. Beide Hilfsmittel sollen in den folgenden Abschnitten eine nähere Besprechung erfahren. Hier mögen nur einige Regeln Platz finden, die sich auf die gegenseitige Orientirung derselben beziehen.

Für die meisten Registrirungen ist der Grundsatz festzuhalten dass die zur Aufnahme der Zeichnung bestimmte Fläche sich in einer Richtung zu bewegen hat, die senkrecht ist zu derjenigen Richtung, in welcher die schreibende Spitze sich bewegt. Geht diese also von unten nach oben oder von oben nach unten, so bewege sich die Fläche von rechts nach links oder auch von links nach rechts. Erfolgt die Bewegung der Schreibspitze in einer verticalen Ebene, so muss auch die Schreibfläche in einer solchen verschoben werden, während eine in einer Horizontalebene bewegte Spitze eine horizontal vorübergeführte Schreibplatte verlangt. Für Bewegungen, die in einer senkrechten Ebene, aber von rechts nach links oder umgekehrt ausgeführt werden, kann man zur Aufzeichnung eine Tafel benutzen, welche sich von oben nach unten oder von unten nach oben verschiebt.

Ein Cylinder, dessen Mantel gern als Schreibfläche benutzt wird, muss sich, soll ein senkrecht aufgehängter Muskel seine Zusammenziehung auf ihm verzeichnen, um eine verticale Axe drehen; andererseits ist ein Cylinder mit horizontalliegender Axe nothwendig, falls die aufzuschreibende Bewegung in der Horizontalebene erfolgt. Die Axe des Cylinders orientirt man so, dass sie der durch die Schreibspitze beschriebenen Linie parallel ist.

Bei den bisherigen Betrachtungen ist nur von rechtwinkligen Coordinatensystemen die Rede gewesen, d. h. solchen Systemen, in denen die Abscissenaxe eine horizontale, die Ordinatenaxe eine darauf senkrechte Linie ist. Dieser Fall trifft völlig oder nahezu für die meisten in der Physiologie üblichen graphischen Aufzeichnungen zu. Wo es nicht strenge der Fall ist, muss, wie später gezeigt werden soll, unter Umständen eine Correction vorgenommen werden. Man schreibt aber nicht immer auf rotirende Cylinder oder auf geradlinig bewegte Platten; man zeichnet zuweilen auch Curven auf sich drehende Scheiben oder auf Flächen, die im Bogen eines bewegten Pendels bei der Schreibspitze vorbeiziehen. Für solche Fälle ist die Abscissenaxe ein Bogen und die Ordinaten sind Radien des entsprechenden Kreises.

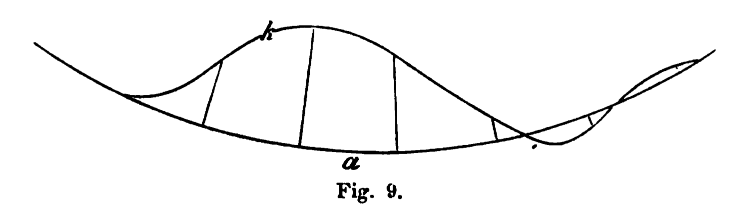


Fig. 9.

Man bezeichnet ein derartiges System als ein Polarcoordinatensystem. Fig. 9 gibt ein Bild von einer Aufzeichnung dieser Art. Der Bogen *a* ist hier die Abscissenlinie, *k* eine Curve, deren Ordinaten gefunden werden, wenn man an *a* vom zugehörenden Kreismittelpunkt Radien zieht. Die unmittelbare Anschaulichkeit einer solchen Zeichnung ist für Denjenigen, der gewöhnt ist, mit rechtwinkligen Coordinaten zu operiren, nicht so gross, wie die einer auf solche zu beziehenden Curve. Das macht sich besonders geltend, wenn der Radius des Abscissenkreises klein ist; die Curven erscheinen dann gegenüber den mit anderen Vorrichtungen gewonnenen verzerrt. Doch ist dies kaum als Uebelstand zu bezeichnen, und es liegt kein Grund vor, diese Art der Registrirung, die sich für gewisse Zwecke recht brauchbar gezeigt hat, zu verwerfen.

Zweiter Abschnitt.

Registrirapparate.

Erstes Capitel.

Bewegte Flächen und bewegende Kräfte.

Im Allgemeinen ist es bei physiologischen Registrirversuchen üblich, den zur Uebertragung der graphisch darzustellenden Bewegung dienenden Schreibapparat fest aufzustellen und die zur Aufnahme der Zeichnung bestimmte Fläche an ihm vorüberzuführen. Natürlich könnte man auch umgekehrt verfahren, nämlich die Schreibvorrichtung an der feststehenden Schreibfläche vorbei bewegen. Aus mancherlei praktischen Gründen verdient indessen in den meisten Fällen das erstere Verfahren den Vorzug.

Nach dem Vorgang von Thomas Young benutzt man für die allermeisten Registrirungen die Mantelfläche eines rotirenden, mit Russ geschwärzten Cylinders. Auf ihr hinterlässt die bewegte Spitze des Schreibapparates helle Spurlinien, die den Bewegungsverlauf getreulich wiedergeben; wird der beschriebene Mantel abgewickelt und ausgebreitet, so erscheint die Zeichnung in einer Ebene. Eine metallene Trommel, welche man mit Papier überzieht und dann über einer qualmenden Lampe schwärzt, leistet hierbei die besten Dienste. Ist sie gut cylindrisch gedreht, ist das Papier glatt, die Russschicht nicht zu dick, so ist der Reibungswiderstand, den die Schreibspitze findet, unerheblich. Die gemachten Aufzeichnungen lassen sich leicht abnehmen und aufbewahren, das vollgeschriebene Papier ist schnell durch neues zu ersetzen. Wenn ein solcher Cylinder nicht allzu klein ist, wenn man ihn mit Vorrichtungen verbindet, die ihn in regelmässige und in ihrer Geschwindigkeit genügend variable Umdrehungen versetzen, so kann er zu fast allen Registrirungen, die bei physiologischen Untersuchungen vorkommen, verwendet werden. Solche Registrircylinder, die, weil man sie zuerst vornehmlich zur Aufzeichnung des Blutdruckes benutzte, oft als Kymographiontrommeln oder auch, allerdings missbräuchlich, einfach als Kymographien bezeichnet werden, sind daher ein wesentlicher Bestandtheil des physiologischen Apparatenschatzes ge-

worden, der in keinem dem Studium der Physiologie bestimmten Laboratorium fehlen darf.

Man kann, wie das an manchen astronomischen Registrirapparaten gebräuchlich ist, den Russmantel auch durch einen gleichmässig auf das Papier aufgetragenen Farbstoffüberzug ersetzen, den eine scharfe Schreibspitze wegkratzt. Helmholtz bediente sich bei seinem Myographion einer kleinen, sorgfältig cylindrisch gedrehten Glastrommel, welche direct mit einer dünnen Russschicht überzogen wurde.

Manche ziehen der angerauchten Trommel einen mit ungeschwärztem Papier überzogenen Cylinder vor; auf diesen werden die Zeichnungen mit Hilfe von Bleistiften, besonderen Schreibfedern oder mit Tusche getränkten Pinseln übertragen. Zu gewissen Zwecken werden an Stelle des Papiermantels Wachs- oder Stanniolüberzüge verwendet; für andere wird elektrolytisches Jodstärkepapier oder lichtempfindliches Bromsilberpapier benutzt. Schliesslich möge noch der nackte Stahlcylinder von Siemens erwähnt sein, auf den von der Zeichenspitze überspringende elektrische Funken Signale schreiben.

Neben dem rotierenden Cylinder verwendet man häufig auch Tafeln oder Platten aus Glas oder aus Metall, denen man eine geradlinig horizontale oder verticale oder auch eine pendelnde Bewegung ertheilt. Auch diese Platten kann man direct mit einer Russschicht überziehen oder mit angerauchtem oder auch ungeschwärztem Papier bekleiden. Man kann zu besonderen Zwecken sogar einfache polirte Glasplatten verwenden, in die eine passend geschliffene Diamantspitze die Curve einritzt (Hensen). Die Benutzung von Registrirtafeln empfiehlt sich besonders für kurzdauernde Beobachtungen. Am Marey'schen und anderen Sphygmographen, am Federmyographion von du Bois-Reymond, am Fick'schen Pendelmyographion sind, wie wir später sehen werden, solche Schreibtafeln angebracht.

Bei längeren Versuchen wird man ihnen stets den Cylinder vorziehen; und zwar aus folgendem Grunde: Ist die Registrirtafel einmal ihrer Länge nach am Schreibstift vorbeigezogen, so muss man, um über oder unter oder neben der ersten Zeichnung eine zweite erhalten zu können, die Tafel wieder an ihren Ausgangspunkt zurückschieben. Währenddem muss man die Aufzeichnung unterbrechen, den Schreibstift von der Platte abheben. Bei Benutzung eines sich drehenden Cylinders dagegen kehrt die Schreibfläche jedesmal von selbst wieder in ihre Anfangsstellung zurück, und die Registrirung kann lange Zeit mit nur sehr kurzen oder sogar ohne irgend welche Unterbrechungen fortgesetzt werden. Als ein besonderer Vortheil des Cylinders ist auch der Umstand zu bezeichnen, dass man, falls sein Durchmesser genügend gross ist,

zur Erzielung eines schnellen Vorbeiganges der Zeichenfläche mit einer verhältnismäßig kleinen Winkelgeschwindigkeit auskommt.

Eine noch beschränktere Verwendung als die linear bewegten Platten haben die von Valentin eingeführten rotirenden Scheiben gefunden; doch sind auch sie zuweilen von Nutzen.

Einen unendlichen Papierstreifen, nach Art der in der Telegraphie gebräuchlichen, verwendeten zu physiologischen Untersuchungen zuerst Marey und Chauveau bei ihrem Kardiographen, Rosenthal bei der älteren Form seines Phrenographen. Eine für gewisse Zwecke sehr passende Form hat derselbe im Laboratorium von Ludwig erhalten. Das daselbst gebräuchliche und von da aus in viele andere Arbeitsstätten verpflanzte „Kymographion mit endlosem Papier“ hat, so viel ich sehe, zuerst Funke genauer beschrieben.

Hering endlich hat die Benutznng eines mehrere Meter langen, mit Russ überzogenen, in sich selbst zurücklaufenden Papierstreifens eingeführt.

Als Kräfte zur Bewegung der Registrirvorrichtungen finden die einfachsten und die complicirtesten Hilfsmittel Verwendung. Kommt es auf grosse Präcision der Bewegung an, so wird man ein genau gearbeitetes und gut regulirtes Uhrwerk nicht entbehren können. Andererseits genügt in vielen Fällen die roheste Fortbewegung mit der Hand. Steht Wasserkraft zu Gebote, so kann man die Registrirapparate durch einen Wassermotor treiben lassen. In Laboratorien, in denen gleichzeitig mehrere Apparate zu arbeiten pflegen, ist die Benutzung von Dampfmaschinen oder Gasmotoren bequem, deren Uebertragungen in die verschiedenen Arbeitsräume zu führen sind. Ist der Betrieb ein weniger ausgedehnter, so wird man nicht leicht zu diesem Hilfsmittel greifen. Auch elektrische Motoren sind anzuempfehlen, besonders, wenn das Laboratorium Anschluss an elektrische Centralstellen hat oder wenn es sich im Besitz einer eigenen Dynamomaschine befindet. Kleine Secundärapparate (Arbeitsmaschinen) liefern dann leicht für jeden Arbeitsraum die nöthige mechanische Kraft. Bei manchen Registrirapparaten wird zur Bewegung der Schreibplatte oder der Trommel einfach die Schwere benutzt, bei anderen die freigegebene Spannkraft einer Spiralfeder (Federmyographion von du Bois-Reymond) u. a. m.

Das Uhrwerk als Triebkraft wird in allen denjenigen Fällen unentbehrlich sein, in denen es darauf ankommt, nicht nur gleichmässige und länger andauernde Bewegungen zu erzielen, sondern auch Veränderungen der Geschwindigkeit innerhalb weiter Grenzen mit Sicherheit und Leichtigkeit vornehmen zu können. Da dieser

Fall oft zutrifft, erfreuen sich die vorzüglich gearbeiteten Uhrwerke, mit denen die aus der Werkstätte von Baltzar in Leipzig hervorgehenden sowie die im Marey'schen Laboratorium gebräuchlichen Registrircylinder ausgestattet sind, einer sehr ausgedehnten Verwendung. Dass Registrirvorrichtungen dieser Art jeden Augenblick in Gang zu setzen sind, dass man sie an jedem beliebigen Orte aufstellen, sogar am Krankenbett benutzen kann, sind weitere nicht zu unterschätzende Vortheile derselben.

Als Muster bewährter Registrirapparate sollen hier die zu allgemeinerer Benutzung sich am meisten empfehlenden geschildert, und an ihnen die für ihre Behandlung und Gebrauchsweise massgebenden Regeln erläutert werden.

Zweites Capitel.

Beschreibung der wichtigsten Registrirapparate.

I. Registrircylinder.

Der Ludwig-Baltzar'sche Cylinder.

Von diesem ausgezeichneten und für die meisten graphischen Darstellungen genügenden Instrument gibt die nebenstehende Figur 10 eine Darstellung in etwa $^1/_5$ der natürlichen Grösse.

Der sorgfältig gearbeitete, mit Papier zu überziehende Metallcylinder *c y* wird durch das Uhrwerk *u* in Umdrehung versetzt. Dasselbe ist in einem vollständig verschliessbaren, in der Abbildung durch Abnahme einer Seitenwand geöffneten Gehäuse enthalten; ein nach dem Foucault'schen Princip construirtes Windflügelpaar *f* regulirt seinen Gang. Der Fanghebel *h* dient zum Anlassen und zum Anhalten des Uhrwerkes. Steht er so, wie in der Abbildung, so ist dessen Gang freigegeben; dreht man ihn zurück, so steht es still. Der Schlüssel *s l* zieht die Feder des Uhrwerkes auf.

Bei freigegebenem Gang dreht sich die Axe a^1. Dieselbe trägt an ihrem einen Ende eine Metallscheibe *s*, die bei ihren Umdrehungen die ihr anliegende Frictionsrolle *r* mitnimmt und dadurch die den Cylinder tragende Axe a^2 bewegt. Es ist leicht einzusehen, dass bei gegebener Umdrehungsgeschwindigkeit von a^1 die Drehung des Cylinders eine um so schnellere wird sein müssen, je peripherer, und um so langsamer, je centraler die Frictionsrolle der Frictionsscheibe anliegt. Man hat es demnach in der Hand, den Gang des Cylinders

dadurch zu verändern, dass man die Frictionsrolle gegen die Scheibe längs eines Halbmessers der letzteren verstellt. Durch Drehungen an der Schraube *d* kann man dies leicht bewirken; ein an einer Theilung spielender Index *i* zeigt die Grösse des benutzten Radius an.

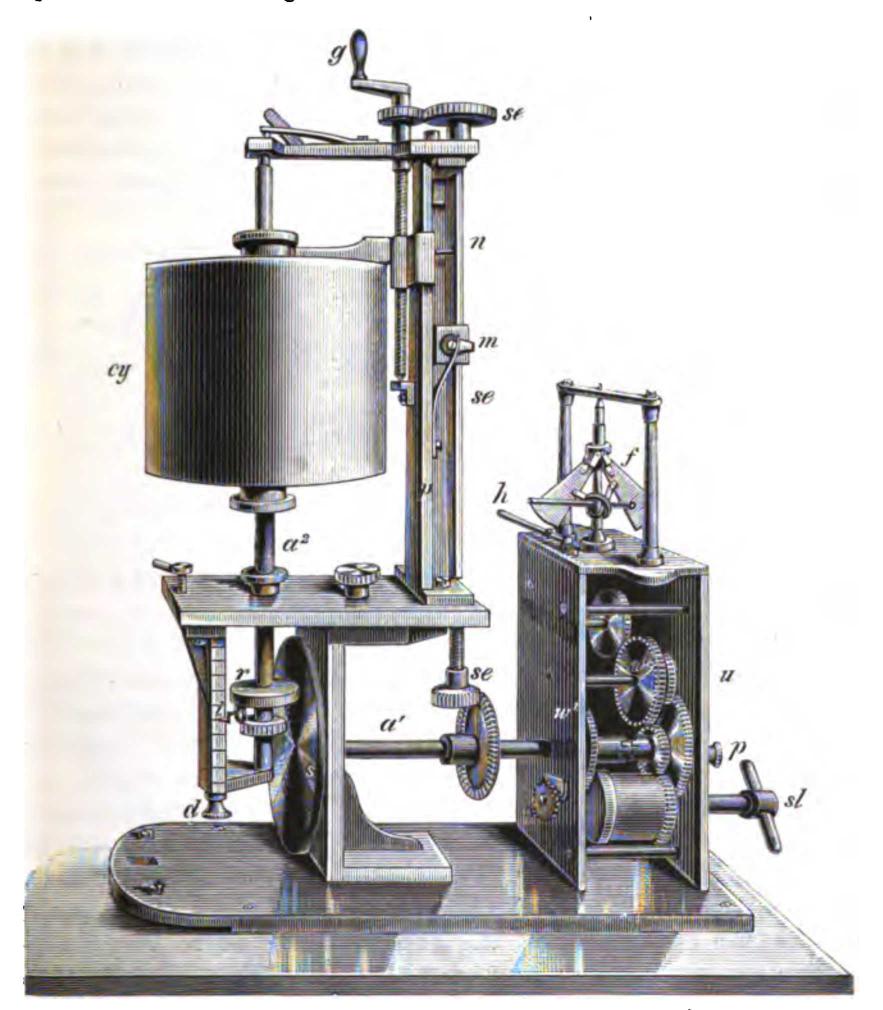


Fig. 10.
Der Ludwig-Baltzar'sche Cylinder. (¹/₆ nat. Gr.)

Die Pressschraube *p* dient zur Regulirung der Reibung zwischen Rolle und Scheibe. Die Pressung soll nur so gross gemacht werden, dass der Cylinder in gleichmässigen Gang kommt; zu starker Druck ist schädlich. Während der Einstellung der Frictionsrolle soll die Pressung ganz aufgehoben werden.

Kann durch diese Vorrichtung eine feinere Abstufung der Trommelgeschwindigkeit herbeigeführt werden, so dienen leicht vorzunehmende Verstellungen innerhalb des Räderwerkes dazu, den Gang in weiten Grenzen zu verändern. Zwei „Wechselräder“ ein unteres w^1 und ein oberes w^2, die durch schwarze Ringe ausgezeichnet sind, lassen sich nach rechts oder nach links leicht verschieben, und in entsprechende Eingriffe bringen. Je nach der durch solche Verschiebungen hergestellten Combination wird der Gang der Hauptwelle ein schnellerer oder ein langsamerer. Bei dem hier geschilderten Apparat entsprechen den verschiedenen Stellungen der beiden Wechselräder folgende Geschwindigkeiten der Trommel: [1])

		(Je nach der Stellung der Frictionsrolle:)
1.	Unteres Rad links Oberes Rad rechts	ungefähr 90 Minuten bis 12 Minuten für eine Umdrehung.
2.	Unteres Rad rechts Oberes Rad rechts	ungefähr 12 Minuten bis $1^1/_4$ Minute.
3.	Unteres Rad rechts Oberes Rad links	ungefähr $1^1/_4$ Minute bis $^1/_8$ Minute.

Bei den Stellungen 1 und 2 müssen in den Windflügelregulator die dem Apparate beigegebenen schwachen Sprungfedern eingesetzt werden, während bei dem schnellsten Gange (3) die starken Spiralen zu verwenden sind.

Zur Erreichung noch grösserer Geschwindigkeiten kann man wohl auch, ohne eine Schädigung des Apparates besorgen zu müssen, die Windflügel des Regulators festbinden, oder sie sogar gänzlich entfernen. Man kann auf diese Weise die Zeit einer Cylinderumdrehung bis auf 3 Secunden und noch etwas weiter herabsetzen.

Vermöge einer ohne nähere Schilderung verständlichen Einrichtung vermag man durch Drehungen am Kurbelgriff g die Trommel zu senken und zu heben. Sie verschiebt sich dabei auf ihrer Axe. Dem hier dargestellten Apparat ist aber ausserdem eine selbstthätig wirksame Senkungsvorrichtung se eigenthümlich, eine Vervollständigung des Instrumentes, die zwar nicht unentbehrlich, aber für viele Fälle sehr bequem ist. Man kann dieselbe nach Belieben auslassen oder einschalten. Ist sie, wie in der Abbildung, eingeschaltet, so greift ein auf der Axe a^1 befestigtes gezähntes Rad in die Zähne eines kleineren neben und über ihm befindlichen ein, und dreht beim Gang der

[1]) Die nachfolgende Tabelle, von welcher man natürlich vielfach Gebrauch zu machen hat, schreibt man am besten auf ein Papier, welches man auf die Innenfläche der Thür des Gehäuses klebt, oder man lässt sie in dieselbe eingraviren.

Trommel die mit diesem verbundene verticale Stange. Diese trägt an ihrem oberen Ende wieder ein Zahnrad, das nun seinerseits in das unter der Kurbel befindliche Gezähn eingreift. Auf diese Weise wird der sich drehende Cylinder längs seiner Axe verschoben, wie wenn man mit der Hand gleichmässige Drehungen an der Kurbel ausgeführt hätte. Der in Bewegung gesetzte Cylinder wird also hier nicht nur gedreht, sondern auch zugleich allmälig gesenkt. Hat er seine tiefste Stellung erreicht, so löst sich die Senkung

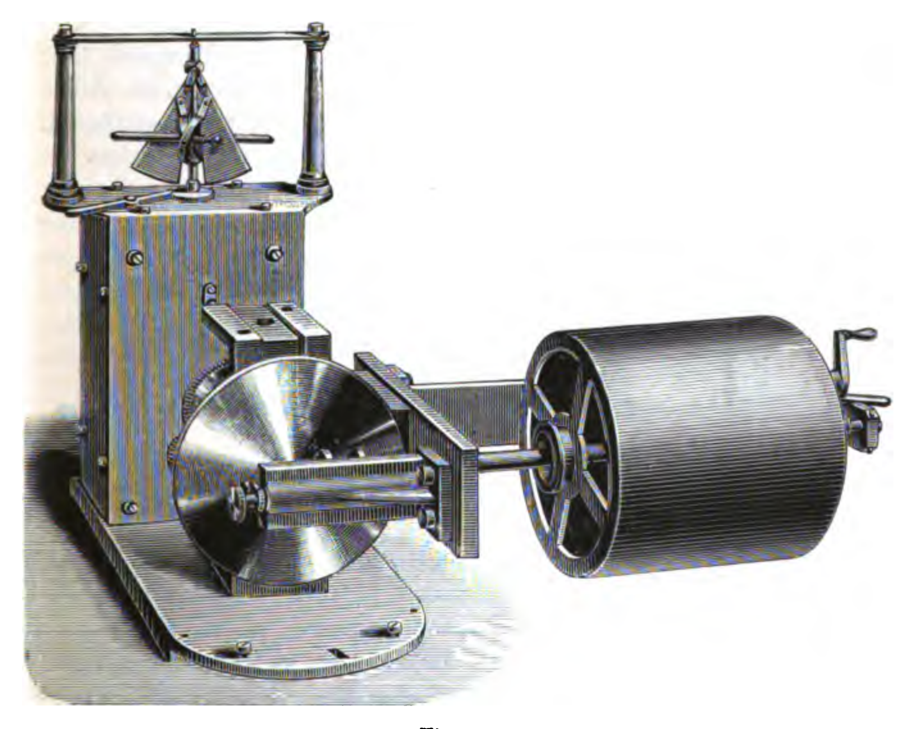


Fig. 11.
Baltzar'sche Trommel in horizontaler Stellung.

selbstthätig aus, indem die Nase *n* den an der Verticalstange befestigten federnden Schieber *m* zur Seite schiebt und dadurch die ineinander greifenden Zahnräder voneinander entfernt. Durch entsprechende Drehungen an der Kurbel *g* kann man den Cylinder jetzt wieder in seine höchste Stellung zurückbringen. Will man bei seinem weiteren Gange von der selbstthätigen Senkung wieder Gebrauch machen, so muss man während er sich dreht, durch Hebung von *se* die Zahnräder zum Eingreifen bringen. Natürlich kann jederzeit während des Ganges

die Senkung auch mit der Hand ausgeschaltet werden. Man hat zu diesem Zwecke nur den oben erwähnten Schieber zur Seite zu drücken.

Die Trommel des Baltzar'schen Apparates hat eine Höhe von 13 *cm* und einen Umfang von 50 *cm*. Durch einfache Handgriffe kann man sie leicht abnehmen oder einsetzen. Man kann sie auch horizontal stellen, ohne dass man dabei an der Aufstellung des ganzen Apparates etwas zu verändern braucht.

Fig. 11 giebt einen Baltzar'schen Apparat bei horizontaler Trommellage wieder. An ihm fehlt die automatische Senkungsvorrichtung.

Es wurde oben erwähnt, dass man durch Festbinden oder Abnehmen der Windflügel die Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel über das vorgesehene Maximum hinaus [1]) zu steigern im Stande ist. Allein auch die so zu erreichende Geschwindigkeit ist nicht immer genügend. Für gewisse Untersuchungen an Muskeln und Nerven, besonders für Latenzzeitmessungen u. ä. bedarf man eines noch schnelleren Ganges. Baltzar liefert deshalb neuerdings auch Cylinder mit sehr schneller Umdrehung; anstatt durch Federkraft wird bei diesen das Uhrwerk durch schwere Gewichte getrieben. Bei einem solchen von Tigerstedt bei seinen Untersuchungen über die Latenzdauer der Muskelzuckung benutzten Apparat entsprach einem Millimeter Papierlänge ein Zeitraum von nur 0·0016 Secunden.

Der Registrircylinder von Marey.

Ein gleichfalls sehr beliebter Registrirapparat ist der von Marey angegebene, den Fig. 12 darstellt.

Derselbe ist zunächst für horizontale Trommelstellung eingerichtet. Der zwar leichte, aber doch sehr genau gearbeitete Cylinder ist hier 25 *cm* lang und hat einen Durchmesser von etwa 13 *cm*. Durch sehr einfache Manipulationen kann man ihn einsetzen und abnehmen. Seine Bewegung besorgt ein ausgezeichnet gearbeitetes, mit einem Foucault'schen Regulator versehenes Uhrwerk. Um die wünschenswerthen Veränderungen der Trommelgeschwindigkeit vorzunehmen, hat man hier die Axen zu wechseln. Der Apparat hat drei Axen, von denen die erste eine grosse, die zweite eine mittlere, die dritte eine geringe Umdrehungsgeschwindigkeit besitzt. So macht beispielsweise bei einem aus der Werkstatt von Verdin hervorgegangen Apparat die Trommel je nach der benutzten Axe 1, 7 und 40 Um-

[1]) Dasselbe beträgt dem oben Gesagten zufolge etwa 7·5 Sec. für eine Umdrehung. Da der Umfang der Trommel 500 *mm* ist, so entspräche dies für den Millimeter einer Zeit von 0·015 Sec. Bei Festbindung der Regulatorflügel gelangt man bis auf etwa 0·006 Sec. pro *mm*.

drehungen in der Minute. Bei einem Cylinderumfang von 40 *cm* betrügen dann die Geschwindigkeiten etwa 0·15 Sec., 0·02 Sec. und 0·004 Sec. für den Millimeter.

Für die Messung nervöser Vorgänge (Leitungsgeschwindigkeit) würde man von der grössten, für viele andere myographische Zwecke von der mittleren, für die Registrirung der Erscheinungen am Circulationsapparat in der Regel von der kleinsten Geschwindigkeit der Trommel Gebrauch zu machen haben.

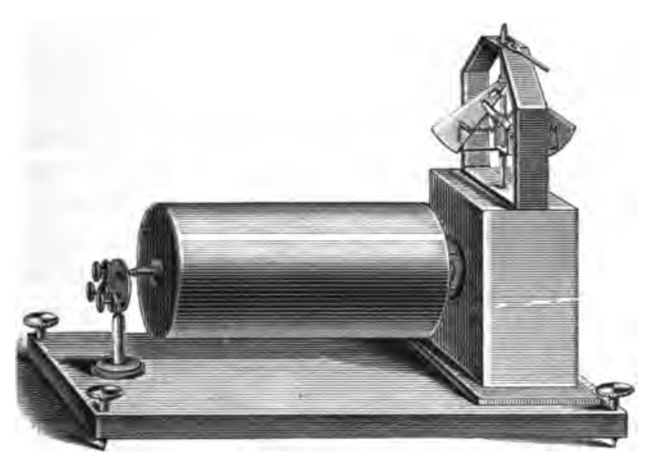


Fig. 12
Registrircylinder von Marey. (1/7 nat. Gr.)

Um das Instrument bei senkrechter Cylinderstellung zu benutzen, richtet man es einfach auf. Es stützt sich dann auf einen, am Uhrgehäuse befindlichen Fuß. Mit der Trommel geräth dabei zugleich das Uhrwerk und der Regulator in eine veränderte Lage. Der Apparat hat in dieser Stellung keine genügende Stabilität; auch wird die Beschattung der Trommel durch das aufgerichtete Grundbrett leicht lästig. Wo es möglich ist, wird man deshalb lieber die Horizontalstellung beibehalten.

Der Marey'sche Cylinder leistet in vielen Fällen unstreitig treffliche Dienste; aber mit dem Registrirapparat des Leipziger Laboratoriums hält er, was die allgemeine Verwendbarkeit betrifft, den Vergleich nicht aus.

Gegenüber der Leichtigkeit, mit welcher man bei diesem, ohne am Cylinder rühren zu müssen, innerhalb sehr weitgesteckter Grenzen alle möglichen Geschwindigkeiten benutzen kann, ist die sehr begrenzte, nur in grossen Sprüngen mögliche Veränderlichkeit derselben bei der Marey-Verdin'schen Trommel ein entschiedener Mangel; und sehr unangenehm kann auch der Umstand werden, dass man beim Wech-

seln der Geschwindigkeit den Cylinder abnehmen und auf eine andere Axe setzen muss.

Ein ganz besonderer Uebelstand ist aber, dass die Axen des Apparates nicht in derselben Richtung laufen. Dadurch wird für die verschiedenen Geschwindigkeiten eine verschiedene Orientirung der Schreibvorrichtung nothwendig, was sehr lästig sein kann.

Andererseits hat der Marey'sche Cylinder eine bequeme Länge, er ist leicht transportabel, und sein Gang ist, wie schon bemerkt, ein tadelloser.

II. Registrirapparate mit unendlichem Papier.

Bei dieser Classe von Registrirapparaten wird ein Papierstreifen von beliebiger Länge an den schreibenden Vorrichtungen vorbeibewegt. Ein sehr empfehlenswerther Apparat dieser Art ist das aus der Leipziger physiologischen Anstalt hervorgegangene

Baltzar'sche Kymographion mit Papier ohne Ende.

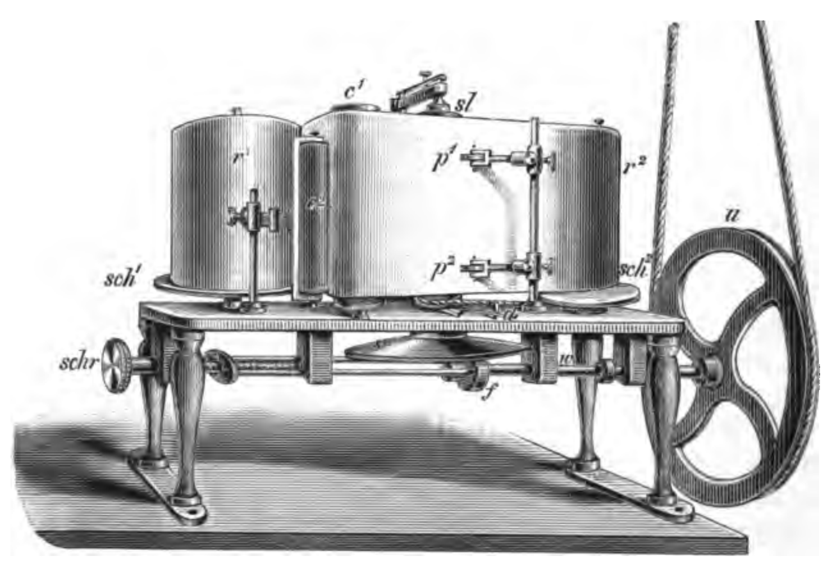


Fig. 13.
Kymographion mit Papier ohne Ende. (1/7 nat. Gr.)

Die in Fig. 13 gegebene Abbildung desselben möge zugleich als Beispiel einer Registrirvorrichtung dienen, die anstatt durch ein Uhrwerk, vermittelst Dampf- oder Wasserkraft u. ä. in Bewegung gesetzt wird. Allerdings kann auch dieser Apparat mit einem Uhrwerk ver-

sehen werden, ebenso wie man das Cylinderkymographion mit Hilfe einer Gasmaschine u. s. w. betreiben könnte.

Der 17·5 *cm* breite Papierstreifen wird hier beim Gange des Apparates von einer Vorrathsrolle r^1 ab- und auf eine zweite Rolle r^2 aufgewickelt. Er zieht dabei, glatt sich anlegend, über einen Metallcylinder c^1 fort. Die Stelle seiner Berührung mit diesem ist für die Aufnahme der Zeichnung geeignet. Die Bewegung des Papierstreifens geschieht in der Weise, dass durch das mit dem Motor verbundene Übertragungsrad *u* die Welle *w* gedreht wird. Sie trägt die Frictionsrolle *f*, die an der Frictionsscheibe *s* schleift. Mit der letzteren, die also durch die Reibung in Umdrehung versetzt wird, ist die in der Abbildung grösstentheils verdeckte, um ihre Verticalaxe leicht drehbare Säule *sl* in Verbindung. Auf sie werden die Umdrehungen der Reibungsscheibe übertragen. Drücken nun zwei bewegliche Pressröllchen p^1 und p^2 den Papierstreifen fest und gleichmässig gegen diese Säule, so gleitet derselbe bei ihren Drehungen allmälig über diese hinweg, wird dabei von der auf die leicht drehbare Scheibe sch^1 aufgesetzten Vorrathsrolle r^1 abgewickelt und zieht, durch die in einem Spitzenlager bewegliche Walze c^2 geführt, über den Cylinder c^1. Mit der Säule *sl* ist durch einen Schnurlauf eine drehbare Scheibe sch^2 verbunden, durch deren Umdrehungen das abgewickelte Papier sich allmälig auf eine auf der Scheibe stehende Metallaxe aufwickelt (r^2). Sorgt man dafür, dass der verstellbare Führungscylinder c^2 nur lose dem Papierstreifen anliegt, und dass die Pressrollen p^1 und p^2 ihn gleichmässig und nicht allzuschwach gegen die Säule *sl* drücken, so ist die Fortbewegung des Papiers bei regelmässigem Gange des Motors eine sehr gleichförmige, und man wird auch bei lange fortgesetztem Gebrauch des Apparates kaum über Hindernisse zu klagen haben. Sollte die Aufnahmerolle r^2 zu lose werden, so dreht man sie mit der Hand fester. Ist der Schnurlauf, durch den sie sich aufwickelt, zu schlaff geworden, so kann man ihm leicht durch Befeuchtung mit Wasser die gehörige Spannung geben.

Durch Druck auf einen in der Abbildung bei *d* befindlichen Drücker lässt sich die Friction zwischen der Rolle *f* und der Scheibe *s* beseitigen, der bewegte Papierstreifen also anhalten. Drückt man dagegen auf den daneben befindlichen senkrechten Arm, so stellt man die Reibung und damit die Bewegung des Papiers wieder her. Drehungen an der Schraube *schr* nähern die Frictionsrolle *f* dem Centrum der Scheibe oder entfernen sie von ihr.[1]) Hierdurch ist man in den

---

[1]) Diese Einstellungen sind nur bei aufgehobener Friction vorzunehmen.

Stand gesetzt, die Umdrehungen der letzteren in ziemlich weiten Grenzen zu verändern. Doch ist zu beachten, dass hier die Verhältnisse umgekehrt sind, wie beim Baltzar'schen Cylinderkymographion. Dort war der primär bewegte Theil die Scheibe, hier ist es die Rolle. Drehte man bei ersterem die Rolle an die Peripherie, so wurde die Geschwindigkeit grösser; hier ist bei peripherischem Stande der Frictionsrolle die Geschwindigkeit natürlich am geringsten.

Dieser Registrirapparat empfiehlt sich für alle diejenigen Fälle, in denen man lange Zeit fortlaufende Aufzeichnungen zu machen hat, die man nicht zu unterbrechen wünscht. Am meisten wird er bei Blutdruckversuchen verwendet, und hier ist er in der That von grossem Werthe. Man kann nämlich mit seiner Hilfe stundenlang die Blutdruckwellen aufzeichnen, ohne dass man die Abscisse zu verändern braucht. Hat man diese ein für alle Mal markirt, so ist für alle Stellen des beschriebenen Papiers die entsprechende Blutdruckhöhe auf das einfachste zu bestimmen. Es liegt auf der Hand, welche grossen Dienste der Apparat besonders dem Toxikologen leisten muss, der die Wirkung seiner Eingriffe auf den Blutlauf hier auf das bequemste überblicken kann.

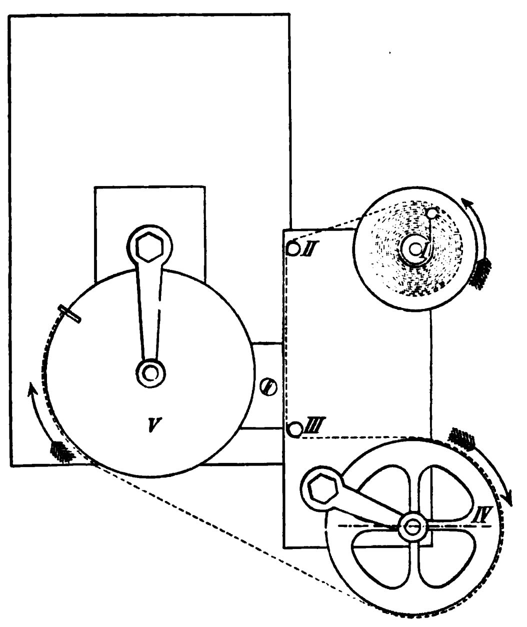


Fig. 14.
Schema eines Kymographions mit unendlichem Papierstreifen; nach Aubert und Angelucci.

Freilich ist der Papierverbrauch oft nicht gering; am Cylinder, dessen ganze Höhe man ausnützen kann, arbeitet man sparsamer. Doch ist dieser Punkt ohne Bedeutung, zumal da das hier zur Verwendung kommende Rollenpapier weit billiger ist als das zur Ueberziehung des Cylinders zu benutzende Glanzpapier.

Von mehreren Seiten sind Registrirapparate ähnlicher Construction beschrieben worden. Einen anscheinend sehr zweckmässig eingerichteten bildet Foster in seinem Lehrbuch der Physiologie ab.

Hier finde noch eine Aufsicht-Skizze Platz, die ich einer Arbeit von Aubert und Angelucci entlehne. Sie gibt eine klare Vorstellung von der Anordnung, die man zu treffen hat, wenn man einen gewöhnlichen Registrircylinder für unendliches Papier einzurichten beabsichtigt.

Die punktirte Linie in Fig. 14 bedeutet den Papierstreifen; derselbe ist um den mit geringer Reibung drehbaren Hilfscylinder *I* gewickelt, geht dann um die polirten Stahlstangen *II* und *III* und über den sehr leicht drehbaren Messingcylinder *IV*, dem gegenüber die Schreibapparate anzubringen sind, zu der durch ein Uhrwerk u. dgl. in Bewegung gesetzten Kymographiontrommel *V*, an welcher der Streifen (mittelst der später zu beschreibenden Traube'schen Spange) festgeklemmt ist; auf diese Trommel wickelt sich bei ihrem Gange der Papierstreifen auf.

Der Registrirapparat von Hering.

Als einer der wesentlichsten Nachtheile bei der Benutzung des unendlichen Papiers wird von Manchen der Umstand empfunden, dass man besonderer, beim Gebrauch nicht selten etwas launenhafter, in allen Fällen die Schreibvorrichtung nicht unbedeutend belastender Schreibfedern bedarf, die mit Tinte oder anderen Farbstofflösungen die Zeichnung auf das Papier auftragen.

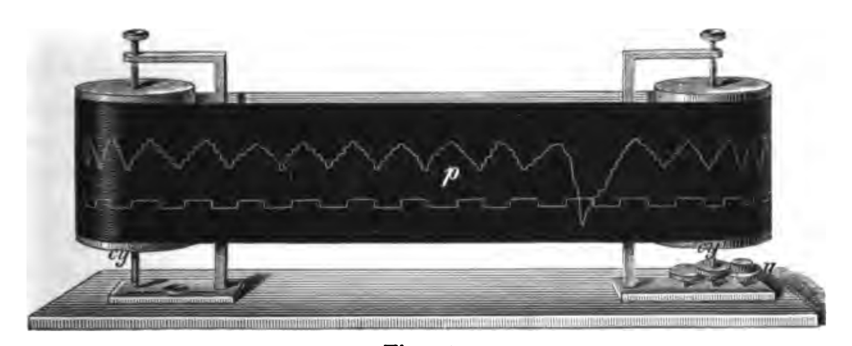


Fig. 15.
Schema eines nach dem Principe von Hering gebauten Registrirapparates.

Man hat deshalb versucht, Registrirapparate zu bauen, welche die Vortheile des berussten Cylinders mit denen des endlosen Papieres verbinden. Die nach dem Princip von Hering angefertigten erfüllen diese Aufgabe. Bei ihnen wird ein langer, mit Russ geschwärzter, um zwei sich drehende Cylinder gelegter, in sich selbst zurücklaufender Papierstreifen bewegt.

Fig. 15 gibt eine schematische Darstellung einer solchen Vorrichtung. Der aus Glanzpapier bestehende, gleichmässig angerauchte Papierstreifen *p* ist über zwei vertikal stehende Trommeln gespannt, deren Entfernung entweder eine feste ist, oder besser (wie in der Abbildung) sich innerhalb gewisser Grenzen verändern lässt. Der eine Cylinder cy^1 wird durch ein Uhrwerk *u* bewegt, der andere (cy^2) dreht sich passiv mit. Die Enden des sorgfältig und mit mässiger Spannung um die Cylinder zu legenden gemeinschaftlichen Papiermantels *p* werden zusammengeklebt. Drehen sich die Cylinder, so bewegt sich auch das Papier. Die Aufzeichnung geschieht an einer Stelle des Hauptcylinders, an der das Papier glatt anliegt.

Ein solcher Apparat soll sich genügend heben und senken lassen, um die Ausnützung der ganzen Papierbreite zu gestatten; seine Geschwindigkeit muss innerhalb der üblichen Grenzen variabel sein. Natürlich kann man, wo von dem langen Papierstreifen kein Gebrauch gemacht werden soll, den Hauptcylinder auch in gewöhnlicher Weise für sich allein benutzen; die Hilfstrommel kann dann zum Wechseln dienen.

Einen nach diesem Princip gebauten, anscheinend sehr zweckmässigen Apparat hat vor Kurzem Hürthle beschrieben. Bei ihm sind Papierstreifen von 185 bis 320 *cm* Länge verwendbar, da die eine Trommel, ähnlich wie in Fig. 15, parallel zur anderen verschoben und in passender Entfernung von ihr festgestellt werden kann. Von ihrer tiefsten Stellung aus lässt sich die Schreibfläche um etwas mehr als Trommellänge heben und in jeder Höhe fixiren. Die Geschwindigkeit des Papierstreifens kann in den Grenzen von 0·5 *cm* bis 100 *cm* in der Sekunde verändert werden.

Auf solche Streifen schreibt man, wie auf den berussten Mantel des Registrircylinders. Ist die Fortbewegungsgeschwindigkeit keine grosse, so reicht man mit einem solchen Streifen ziemlich lange, jedenfalls 3 bis 6 mal länger, als mit einer Baltzar'schen Trommel von gleicher Höhe aus.

Drittes Capitel.

Einrichtungen zur Verstellung der Registrircylinder und der schreibenden Vorrichtungen gegen einander.

Die Aufstellung der Schreibapparate, durch welche die Uebertragung der zu studirenden Bewegung auf den Registrircylinder ge-

schieht, kann erst in einem späteren Abschnitt behandelt werden. Hier möge aber vorgreifend einiger Einrichtungen gedacht werden, durch welche man in den Stand gesetzt wird, die so oft nothwendigen Verschiebungen der Trommeln und der Schreibapparate gegen einander vorzunehmen.

Es ist immer ein Vortheil, wenn man einen Registrircylinder besitzt, dessen Schreibfläche geräumig genug ist, um die Aufzeichnung länger fortlaufender Curven oder die Anstellung zahlreicher graphischer Einzelversuche zu gestatten. Um aber diese grossen Registrirflächen ausnützen zu können, bedarf man besonderer Einrichtungen zur Hebung und Senkung derselben. Wo solche nicht vorhanden sind, muss man die Schreibvorrichtung heben und senken können.

Die Kurbelvorrichtung am Baltzar'schen Apparat, vermittelst deren die Trommel längs ihrer Axe verschoben werden kann, ist oben erwähnt worden. Wir wollen zunächst annehmen, der Apparat entbehre der Selbstsenkung. Dann hat man jedesmal, wenn der Cylinder eine Umdrehnng vollendet hat, ihn vermittelst einiger Kurbeldrehungen so weit zu senken, dass die auf einander folgenden Curvensysteme sich gegenseitig nicht stören.

Es kann nun in manchen Fällen, z. B. bei der Aufzeichnung des Blutdruckes, wünschenswerth erscheinen, über die Grösse der jedesmaligen Senkung genau unterrichtet zu sein. Sehr einleuchtend erscheint deshalb der Vorschlag von Holovtschiner, unter der Kurbel eine getheilte Kreisscheibe und an der Kurbel selbst einen Zeiger anzubringen, welcher die Grösse der jedesmaligen Senkung abzulesen erlauben würde. Man könnte statt dessen — vielleicht wäre das noch zweckmässiger — auf oder neben dem der Trommel zur Führung dienenden Prisma *p* (Fig. 10) eine Centimeter-Theilung anbringen; die Verschiebung des auf ihm gleitenden Schlittens und damit die Grösse der Trommelsenkung würde sich dann sehr leicht und unmittelbar bestimmen lassen.

Steht die Baltzar'sche Registrirtrommel horizontal, so wird sie durch die Kurbeldrehungen nach rechts oder nach links verschoben. Auch so kann sie natürlich ihrer ganzen Länge nach allmälig an der Schreibspitze vorbeigeführt werden.

Wenn Vorrichtungen zur Verstellung der Schreibfläche fehlen, muss man nach dem jedesmaligen Vorübergang derselben das Schreibwerk verschieben. Bringt man dasselbe auf einem Träger an, der durch eine Zahntriebeinrichtung Hebungen und Senkungen oder seitliche Verschiebungen ermöglicht, so ist das Gewünschte leicht ausgeführt. Einrichtungen dieser Art sollen später beschrieben werden.

Am liegenden Cylinder, z. B. bei Benutzung der Marey'schen Trommel ist ein anderes Verfahren noch zweckmässiger. Man befestigt den Schreibapparat auf einem mit Rädern versehenen Stativ, einer Art von Wagen, welcher auf Schienen, die der Cylinderaxe parallel sind, verschoben werden kann. Nach jeder Umdrehung schiebt man den Wagen ein Stück weiter; man sichert sich dadurch eine mühelose und stets genaue Einstellung für die verschiedenen Cylinderbreiten.

Sehr zweckmässig und für manche Fälle geradezu unentbehrlich sind Einrichtungen zur automatischen Veränderung der Abscisse. Auch diese kann entweder durch selbstthätige Bewegung des Cylinders längs seiner Axe oder durch die des Schreibzeuges in einer zur Trommelaxe parallelen Richtung geschehen.

Einrichtungen, vermittelst deren am Ende einer jeden Cylinderumdrehung sprungweise eine automatische Verschiebung stattfände, sind mir nicht bekannt. Doch könnten auch solche recht nützlich werden. Bei den gebräuchlichen Apparaten ist die Verstellung eine continuirliche, mit den Umdrehungen des Cylinders fortschreitende.

1) Automatische Verschiebung des Cylinders.

Schon der ursprüngliche Cylinder von Young war mit einer solchen versehen. Derselbe bewegte sich während seiner Umdrehungen auf einer mit Gewinde versehenen Axe gleichzeitig nach abwärts. Aehnliche Einrichtungen sind später öfters getroffen worden. Zu gewissen physiologischen Zwecken benutzt man gern den Phonautographencylinder von Scott und König. Fig. 16 stellt ihn dar.

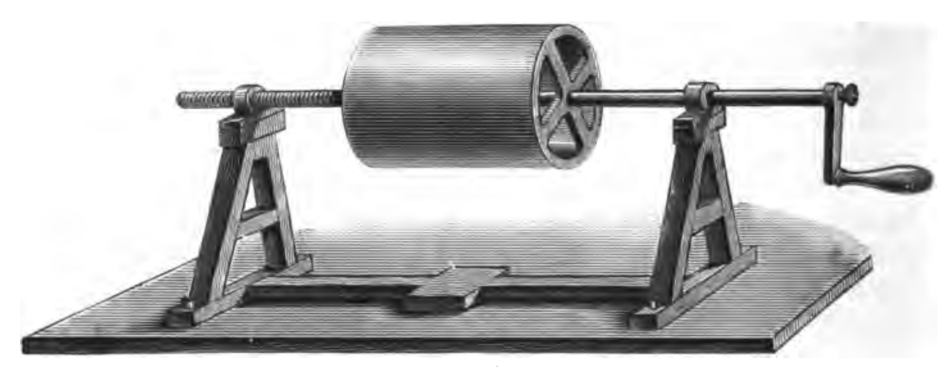


Fig. 16.
Phonautographencylinder von König. (1/8 nat. Gr.)

Eine schwere Messingtrommel von 234 *mm* Länge und 560 *mm* Umfang ist auf einer horizontalen Welle befestigt, die an ihrem einen

Ende ein Schraubengewinde trägt. Die Welle wird vermittelst einer Kurbel mit der Hand gedreht. Der Schraubentheil derselben läuft in einem Muttergewinde. Wenn man den Cylinder um die Längsaxe dreht, rückt zugleich die Schraube in ihrem Gewinde weiter vor, und die Trommel erfährt eine progressive horizontale Verschiebung.

Berührt eine Schreibspitze den Trommelumfang, so zeichnet sie auf den geschwärzten Mantel bei den Umdrehungen eine Spirallinie, d. h. die von ihr gegebene Zeichnung rückt in der Richtung der Cylinderaxe vorwärts. Die Entfernung der einzelnen Umgänge von einander hängt natürlich von der Ganghöhe der Schraube ab. Wird eine solche Zeichnung abgewickelt, so sieht man ein System einander paralleler Linien; war während der Umdrehungen der Schreibapparat in Thätigkeit, so erscheinen die den einzelnen Umgängen entsprechenden Zeichnungen ebenfalls parallel zu einander verschoben. Die Welle ruht übrigens auf einem festen eisernen Lager, das auf einem schweren Grundbrett befestigt ist.



Fig. 17.
Aufzeichnung von Athmungsgruppen auf den selbstthätig sich senkenden Cylinder. (Verkleinert).

Für manche Untersuchungen, besonders auch für physiologische Zeitmessungsversuche ist dieser Cylinder sehr geeignet. Die ihn bewegende Hand könnte nöthigenfalls auch durch eine andere Triebkraft ersetzt werden.

Die automatische Senkungsvorrichtung des Baltzar'schen Cylinderkymographions ist bereits oben geschildert worden. Sie leistet in vielen Fällen treffliche Dienste. Hier sei eine Aufzeichnung wiedergegeben, welche geeignet erscheint, die Vortheile dieser Einrichtung klar zu machen. (Fig. 17.)

Es handelte sich dabei um die Aufschreibung der in sehr grossen (halbstündlichen und noch grösseren) Zeitintervallen sich einstellenden

Athmungsgruppen eines winterschlafenden Thieres. Die Trommel hatte langsamen Gang. Sie selbst zu überwachen und nach jeder Umdrehung zu senken, wäre bei der langen Dauer der Beobachtang sehr mühselig gewesen: die selbstthätige Senkung leistete das Verlangte mit grosser Genauigkeit.

Noch angenehmer ist dieselbe bei vielen anderen Gelegenheiten, besonders in solchen Fällen, in denen man bei sehr schnellem Umgange des Cylinders schreiben muss und einerseits ein Ineinanderlaufen der Zeichnungen, andrerseits eine Unterbrechung des Versuchs nach jeder Umdrehung gern vermeiden möchte. So ist sie bei vielen graphischen Zeitmessungsversuchen ein wertvolles, viele Mühe und Zeit ersparendes Hifsmittel.

Da bei der in Rede stehenden Vorrichtung die Schnelligkeit der Senkung von der Umdrehungsgeschwindigkeit der Welle a^1 abhängig ist, ändert sich die Schnelligkeit der Senkung mit der Umdrehungszahl. In manchen Fällen wäre es erwünscht, der Senkung eine beliebige, von der Geschwindigkeit der Rotation ganz unabhängige Grösse geben zu können. Es wäre nicht schwer, eine Hilfsvorrichtung zu ersinnen, die das Verlangte leisten würde. Indessen sind mir Einrichtungen dieser Art nicht bekannt geworden.

2) Automatische Verschiebung des Schreibwerkes.

An astronomischen Registrirapparaten ist eine Selbstverstellung des Schreibapparates längs der Cylinderaxe seit langer Zeit im Gebrauch. Zu physiologisehen Zwecken ist dieselbe zuerst von Marey und von v. Wittich benutzt worden.

Entweder wird für sie das Uhrwerk der Trommel selbst oder eine selbständige bewegende Kraft verwendet. v. Wittich brachte auf der den liegenden Cylinder tragenden Axe Scheiben an, auf die sich eine Schnur aufwickelte, welche über eine oder mehrere Rollen gehend, am Träger des Zeichenapparates zog. Derselbe bestand aus einem mit Rädern versehenen eisernen Wagen, der sich auf einem der Cylinderaxe parallelen Schienenwege fortbewegte. Eine sehr ähnliche Einrichtung ist in Fig. 115 abgebildet. Man kann damit auch leicht eine einfache Vorrichtung verbinden, vermöge deren die am Wagen ziehende Schnur am Ende der Schienenbahn von selbst sich auslöst.

Auch Marey gibt einer solchen Vorrichtung den Vorzug vor einer anderen, ebenfalls von ihm verwendeten, bei der ein besonderes Uhrwerk einen Wagen am Cylinder vorbeiführt. Diese letztere Einrichtung, von Marey als Chariot automoteur bezeichnet, gibt die

beistehende Fig. 18 nach einer Abbildung von Verdin wieder. Das Uhrwerk *u* bewegt hier eine Schraube ohne Ende *sch* und durch sie den Wagen *w*, der die zur Aufnahme von Schreibapparaten bestimmte Säule *s* trägt. Die Geschwindigkeit wird durch die Einstellung der Windflügel geregelt.

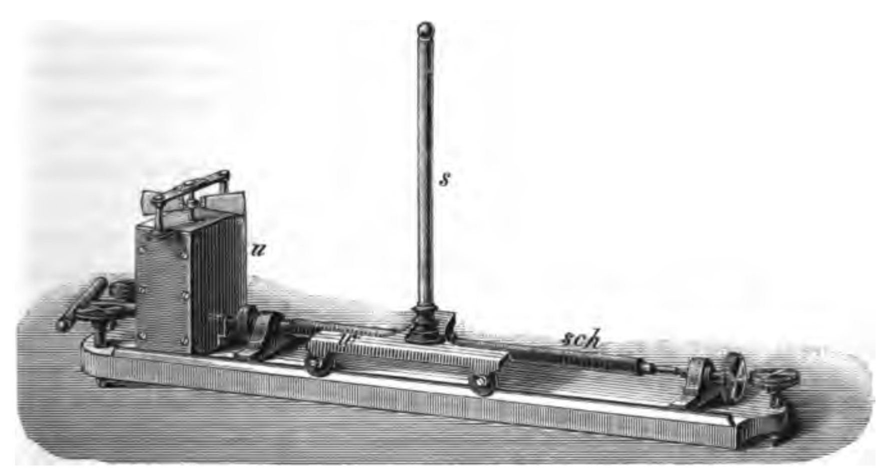


Fig. 18.
Marey's Chariot automoteur (nach Verdin).

Wie vortrefflich Einrichtungen dieser Art sich bewähren, zeigen die schönen von Marey abgebildeten Curven, welche durch die sogenannte imbrication verticale und oblique von Myogrammen erhalten worden sind.

Viertes Capitel.

Behandlung der Registrirapparate.

Einiges über die Behandlung der Registrirapparate wurde bereits bei der Beschreibung derselben erwähnt. Hier mögen noch etliche ergänzende Bemerkungen Platz finden.

Die beiden Baltzar'schen Kymographien werden am besten mit ihren Grundplatten auf eigene Tische aufgeschraubt, die so hoch sind, dass der Apparat vom stehenden Experimentator bequem gehandhabt

werden kann, und die leichten und nahen Zutritt von allen Seiten erlauben. Im Königsberger physiologischen Institut hat sich seit Jahren ein auf drei Beinen sehr fest stehender kleiner Tisch, der nach Art der für manche Luftpumpen gebräuchlichen Tische gearbeitet ist, als zweckmässig erwiesen. (Derselbe ist in Fig. 169 abgebildet.) Besitzt man mehrere Registrirvorrichtungen, so weist man am besten der einen von ihnen einen dauernden Platz im Laboratorium an. Vortheilhaft ist es, wenn man den Apparat auf eine aufgemauerte Pfeilerplatte stellen kann, um beim Arbeiten nicht durch Erschütterungen des Fussbodens gestört zu werden.

Das Trommelkymographion muss zwei gleiche Cylinder besitzen, die man während eines Versuches abwechselnd benutzt. Man erspart sich dadurch länger dauernde Unterbrechungen der Beobachtung; während an dem einen eben gebrauchten das Papier durch neues frisch zu berussendes ersetzt wird, tritt der andere an seine Stelle. Der Wechsel ist in kürzester Zeit auszuführen.

Befestigung und Schwärzung des Papierstreifens.

Der auf dem Cylinder zu befestigende Papierstreifen soll ebenso breit sein wie die Trommel hoch ist, jedenfalls nicht breiter. Seine Länge sei etwas grösser, als der Cylinderumfang. Man hält einen Carton mit Streifen vorräthig, die man in grösserer Zahl vom Buchbinder schneiden und am Innenrande der einen schmalen Seite in einer Breite von etwa 5 *mm* gummiren lässt. Nach Anfeuchten der gummirten Zone kann man dann leicht das der Trommel sorgfältig glatt und gleichmässig angelegte Papier auf ihr befestigen. Dabei achte man darauf, dass das Ueberkleben so stattfinde oder dass später die Einsetzung der Trommel in den Apparat so geschehe, dass die Klebestelle die zeichnende Spitze beim Gange nicht hindert. Die Schreibspitze soll zur „Nahtstelle“ stets von der Duplicatur des Papiermantels gleiten, nicht umgekehrt von der Naht aus über die Duplicatur gelangen. Die Trommel oder die Rückenfläche des Papiers vor dem Herumlegen zu befeuchten, was Manche thun, damit es gleichmässiger anliege, ist überflüssig und kann sogar schädlich sein.

Die in manchen Laboratorien noch jetzt gebräuchliche Trommel des Traube'schen Kymographions besitzt eine Einrichtung, die das Ankleben des Papierstreifens überflüssig macht. Es befindet sich an ihr eine verticale, schmale Rinne, in welche durch einen hineinpassenden federnden Messingstreifen, dessen oberes Ende durch ein Charnier mit der Trommel verbunden ist, die Enden des Papiers hineingedrückt werden.

Die äussere Fläche des letzteren soll, falls es als berusstes Papier zu gebrauchen ist, was ja die Regel sein dürfte, ganz glatt sein, keine Körnung zeigen, nirgend gefaltet sein. Je glatter das Papier, desto verschwindender wird die Reibung zwischen ihm und der Schreibspitze. Die Papiersorte sei nicht zu dünn und nicht zu dick; im ersten Falle würden sich die Streifen beim Fixiren der Curven zusammenrollen, im letzteren liessen sie sich schlecht auf der Trommel befestigen. Man wählt am besten weisses Glanzpapier (Kreidepapier) von etwa 0·07 *mm* Dicke. [1])

Die Berussung des Papiers geschieht am besten über einer kleinen mit breitem Flachbrenner versehenen Petroleumlampe (Fig. 19). Die von Manchen vorgezogenen Terpentinlampen haben mir keine guten Erfolge gegeben. Marey bedient sich eines Wachslichtes. Manche empfehlen die Berussung über brennendem Kampher. Beim Berussen von Glasplatten habe ich leuchtende Gasflammen zweckmässig gefunden. Soll die mit Papier überzogene Trommel berusst werden, so dreht man sie mit der Hand in weiten Spiraltouren über der Flamme. Sie erst in ein eigenes Lager einzuspannen, ist sauberer, aber auch umständlicher. Das Anrussen, wie das später zu beschreibende Fixiren soll in einem neben dem Experimentirzimmer befindlichen Raume, nicht in jenem selbst vorgenommen werden.

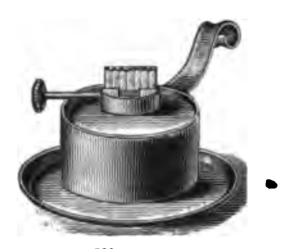


Fig. 19.
Berussungslampe (1/4 nat. Gr.)

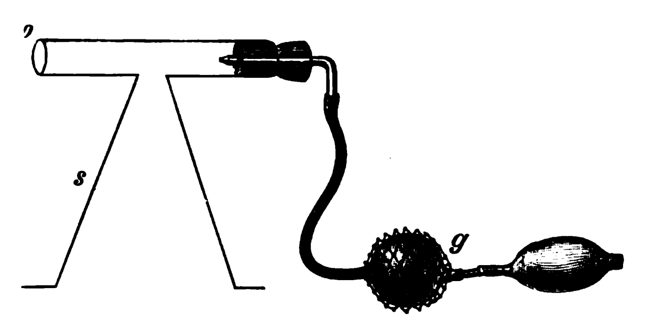


Fig. 20.
Hürthle's Russzerstäuber.

Vor Kurzem hat Hürthle eine Berussungs-Vorrichtung beschrieben, die sich für manche Zwecke sehr zu empfehlen scheint. Er

[1]) Die Papierdicke lässt sich leicht mittelst eines guten mikrometrischen Tasters bestimmen, wenn man das zu untersuchende Papier zwischen zwei Deckgläser einschliesst, deren Dicke man dann für sich bestimmt.

bläst nämlich den Rauch der Lampe gegen den Cylinder. Fig. 20 stellt seine Einrichtung dar; *s* ist ein auf die russende Lampe aufzusetzender aus Glimmer gefertigter Schornstein. Er trägt oben eine horizontale Röhre, die an der einen Seite durch einen von einer Glasröhre durchbohrten Stopfen geschlossen ist. Das Glasröhrchen steht in Verbindung mit einem Gummigebläse *g*. Setzt man das letztere in Thätigkeit, so wird der Rauch des Lämpchens in feiner Vertheilung gegen den vor der Oeffnung *o* befindlichen Cylinder geblasen. Mit Hilfe dieser Einrichtung kann man die Russschicht gleichmässiger auftragen, als durch das gewöhnliche Verfahren.

Ueber die nothwendige Dicke der Russschicht gehen die Meinungen auseinander; die Einen lieben einen kräftigen Ueberzug, Andere wollen das Papier nur mit einem grauen Hauch überzogen wissen. Es ist zweifellos, dass zu starke Berussung zu grossen Unzuträglichkeiten führt. Die gezeichneten Curven werden grob, die Schreibspitze beladet sich mit Russ, und man schreibt bald wie mit einem Pinsel anstatt mit einer Spitze; zu feinen Ausmessungen sind die dicken Spurlinien kaum zu verwerthen. Diesen und ähnlichen Uebelständen entgeht man, wenn man das Papier nur schwach anräuchert. Aber meiner Erfahrung nach sollte die Berussung für gewöhnlich doch so kräftig sein, dass sie zu einer dunklen, gleichmässigen Schwärzung der Trommel führt. Die Curvenzeichnung soll in eclatantem Helligkeitsgegensatz zum Grunde stehen; ist das nicht der Fall, so verliert man die Möglichkeit einer sicheren und bequemen Controle während des Actes der Aufzeichnung, und das kann zu mancherlei Verdriesslichkeiten führen. Für besondere Zwecke, bei denen eine genaue mikroskopische Untersuchung der Curven nothwendig wird, mag die Benutzung eines nur ganz schwach angerauchten Papieres oder Glases Berechtigung haben.

Ist im Verlauf eines Versuches der Cylinder vollgeschrieben, so nimmt man ihn ab, und entfernt den schwarzen Mantel, indem man mit einem scharfen schmalen Holzmesserchen ihn entweder dort durchtrennt, wo sich die „Naht“ befindet, oder, falls die Erhaltung dieser Stelle der Zeichnung von Wichtigkeit sein sollte, an einer andern, vorher durch einen senkrechten Strich zu bezeichnenden Stelle.

Fixirung und Aufbewahrung der Curvenzeichnungen. Volkmann scheint der erste gewesen zu sein, der in der jetzt üblichen Weise die auf die berusste Trommel gemachten Zeichnungen fixirt hat. Vielleicht war er überhaupt der erste, der berusstes Papier bei physiologischen Registrirungen benutzt hat.

Um die in den Russ gemachten Aufzeichnungen unverwischt aufbewahren zu können, ist es am besten, das Papier durch eine alkoholische Auflösung von Schellack durchzuziehen. Nach dem Trocknen ist die Fixation geschehen.

Die Schellacklösung soll nicht zu schwach und nicht zu stark sein. Ist sie zu stark, so erhalten die Tafeln einen für manche Zwecke (z. B. für die photographische Wiedergabe) lästigen Glanz; sie werden brüchig; auch lassen sich auf ihnen spätere Bemerkungen, Zeichnungen u. dgl., die oft nöthig werden, nicht oder nur schwer anbringen. Ist die Lösung zu dünn, so ist die Fixation nicht von Dauer.

Ich benutze mit Vortheil eine Auflösung von 10 Theilen gebleichten Schellacks in 100 Theilen 90 procentigen Alkohols. Das gepulverte Harz löst sich bei gelinder Wärme in kurzer Zeit. Nöthigenfalls wird die Lösung durch Leinwand filtrirt. Manche fügen derselben venetianisches Terpentin hinzu, wodurch die Tafeln weniger brüchig werden sollen. Andere benutzen statt des Schellacks andere Harze, besonders Mastix oder Kolophonium; doch scheint mir der Schellack den Vorzug zu verdienen.

Die Lösung soll sich in einer weithalsigen Flasche befinden, in welche kleinere Papierstreifen mit Hilfe einer Pincette eingetaucht werden können. Für das Lackiren grösserer dient eine flache Schale oder Cuvette, (Fig. 21), in welche die Lösung aus dem Vorrathsgefäss eingegossen wird. Ist die Tafel durchgezogen und abgetropft, so wird der Rest der Lösung wieder in die Vorrathsflasche oder besser noch, in eine zweite Flasche gegossen aus der die allmälig gesammelte Flüssigkeit von Zeit zu Zeit in die Vorrathsflasche zurückfiltrirt wird.

Die so durchtränkte Tafel wird zum Trocknen aufgehängt. Zu diesem Zwecke befestigt man am einfachsten an einer Wand eine Reihe von dicken Korkstöpseln. Durchsticht man das Curvenblatt an einem seiner Ränder mit einer 5 bis 10 *cm* langen Nadel, so kann man es mit dieser auf einen der Korke so aufspiessen, dass es die Wand nirgend berührt. Ein untergesetztes Gefäss sammelt die noch abtropfende Flüssigkeit.



Fig. 21.
Fixirungs-Cuvette

Nach dem völligen Trocknen können schriftliche Bemerkungen, Abmessungen, Ordinatenzeichnungen u. s. w. auf der Tafel gemacht werden. Gewisse Bezeichnungen sollen aber schon vor der Fixation

gemacht sein. Man vermerke womöglich alsbald nach oder sogar schon vor der Abnahme von der Trommel auf dem Blatte Datum, Versuchszahl und laufende Tafelnummer. Auch finden am besten schon dann gewisse Bemerkungen über Versuchsanordnung oder -änderung, über die Stärke der angewendeten elektrischen Reizung (Rollenabstand am Schlittenapparat) u. s. w. ihren Platz, so weit solche nicht schon während der Aufzeichnung angebracht werden konnten. Selbst ein gewissenhaft neben der Registrirung geführtes Protokoll schützt nicht ganz vor nachträglichen Irrthümern, und nichts ist ärgerlicher, als wenn man später bei der Benutzung einer wohl gelungenen graphischen Aufzeichnung den vorläufigen Merkzeichen rathlos gegenüber steht.

Die fixirten Tafeln werden in Mappen von entsprechenden Dimensionen aufbewahrt. Kleinere Papierstreifen, wie die des Marey'schen Sphygmographen, oder kleinere allein der Aufbewahrung für werth gehaltene Abschnitte grösserer Blätter werden auf Cartonpapier geklebt und erst dann der Sammlung einverleibt.



Fig. 22.
Kurvenzeichnung auf berusster Glasplatte, nach Art eines mikroskopischen Präparates behandelt.

Will man auf Glas gezeichnete Curven, z. B. die mit dem Federmyographion gewonnenen, aufbewahren, so überzieht man die Platte ebenfalls mit der Schellacklösung. Sie bleiben dann Jahre lang unverändert. Man bewahrt sie in Kästen von passender Grösse auf, die ähnlich wie die zur Aufnahme mikroskopischer Apparate oder photographischer Platten dienenden, an zwei einander gegenüberliegenden Seiten mit Nuthleisten versehen sind.

Es kann auch zweckmässig sein, die fixirten Platten auf photographisch präparirtes Papier nach Art eines Negativs zu copiren, wie das zuerst Funke und Heidenhain empfohlen haben.

Sind kleinere Curvenstücke, die auf geschwärztes Glas gezeichnet sind, aufzubewahren — ich denke dabei z. B. an einzelne Herz- oder Pulscurven, die auf die „schwingende Stimmgabelplatte“ gezeichnet sind — so kann man dieselben auch ganz nach der Art eines mikroskopischen Präparates behandeln. (Fig. 22.)

Man bedeckt zu diesem Zwecke das zu conservirende Stück der Zeichnung mit einem Tropfen in Xylol gelösten Canadabalsams und deckt ein entsprechend grosses Deckglas darüber. Nach dem Trocknen reinigt man die Platte — ich benutze für diesen Zweck Objectträger — von dem ausserhalb des „Präparates" befindlichen Russ, und kann jetzt die eingehendste mikroskopische Untersuchung desselben vornehmen.

Man kann auch die auf berusste Glasplatten gemachten Zeichnungen abklatschen. Zu diesem Zwecke ist folgendermassen zu verfahren. Die Platte wird mit einer Schicht des officinellen Collodium elasticum (50 Theile Collodium auf 1 Theil Ricinusöl)[1] übergossen. Ist sie trocken, so drückt man einen mit einer warmen Auflösung von Tischlerleim überstrichenen Papierstreifen fest und gleichmässig gegen die Platte und hält ihn in dieser Lage während einiger Minuten. Löst man ihn alsdann vorsichtig los, so bleibt an ihm die Collodiummembran mitsammt der die Zeichnung enthaltenden Russschicht kleben. Die Zeichnung hebt sich dann, auch wenn die Platte nur einen ganz leichten Hauch von Russ erhalten hatte, von dem weissen Grunde sehr schön ab. Einer weiteren Fixirung bedarf es nicht; dass die Zeichnung verkehrt ist, thut der näheren Untersuchung und Ausmessung der Curven keinen Eintrag.

Will man jedoch die Curve in ihrer richtigen Lage aufbewahren, so zieht man sie auf sogenanntem Gelatinepapier ab. Zu diesem Zwecke muss man sie ebenfalls mit Collodium übergiessen. Ist dasselbe getrocknet, so lässt sich die Membran mit sammt der daran haftenden Russschicht auf einen etwas befeuchteten Streifen der Gelatineplatte leicht übertragen. Derselbe kann dann mit der schwarzen Seite auf nasses Papier geklebt, und so aufgehoben werden. Das erstere der beiden Verfahren ist indessen dem zweiten vorzuziehen.

Helmholtz rollte das berusste Glascylinderchen seines Myographions direct auf einer angehauchten Fischleimplatte ab. Er spannte dazu den Cylinder in eine Gabel, zwischen deren Zinken er gedreht werden konnte. Die Russschicht blieb beim Abrollen auf der klebrigen Leimplatte haften. Diese wurde alsdann mit ihrer schwarzen Seite gegen ein angefeuchtetes Papier gelegt, wo sie festklebte.

Das für das Kymographion mit endlosem Papierstreifen nothwendige Rollenpapier soll gleichmässig und von genügender, aber nicht allzugrosser Glätte sein. Man kann es sich aus Papierfabriken, Druckereien verschaffen oder vom Verfertiger des Kymographions beziehen.

---

[1] Neuerdings wird dem Präparat behufs Erhöhung der Klebkraft noch 5 pCt. Terpentin hinzugesetzt.

Für den Hering'schen oder Hürthle'schen Apparat ist wieder Glanzpapier zu verwenden. Die Berussung geschieht entweder nach der Aufspannung durch den Russzerstäuber oder vor derselben, indem man das Papier mittelst einer passenden Hilfsvorrichtung über einer entsprechend grossen Berussungslampe fortbewegt. Dem Hering'schen Kymographion gibt sein Verfertiger Rothe in Prag einen solchen Berussungsapparat bei. Zur Fixirung der Zeichnungen wird das abgenommene Papier vermittelst einer ähnlichen Hilfsvorrichtung durch die Schellacklösung gezogen.

Die auf nicht geschwärztes Papier geschriebenen Zeichnungen bedürfen einer besonderen Fixirung nicht. Kleine Abschnitte solchen Papiers werden ebenfalls in Mappen aufgehoben. Hat man zu grösseren Versuchen das Rollenpapier des Kymographions benutzt, so ist oft die Länge des beschriebenen Streifens nicht gering. Derselbe wird behufs der Aufbewahrung am besten fest zusammengerollt, und die Rolle mit einem Gummiring umgeben. Das sichtbar bleibende Ende der Tafel wird mit der Versuchsnummer u. s. w. versehen. Die zu einer Versuchsreihe gehörigen Rollen kommen in einen gemeinschaftliche Carton, in eine Cigarrenkiste u. dgl. Der von ihnen eingenommene Raum ist dann nicht allzu gross.

Dritter Abschnitt.

Schreibvorrichtungen.

Auf einen guten Registrircylinder lassen sich fast alle überhaupt vorkommenden graphischen Aufschreibungen machen. Der Schreibapparat dagegen ist je nach dem zu registrirenden Vorgang ein besonderer. Nur selten ist es möglich, ohne weitere Hilfsmittel eine Bewegung unmittelbar auf der Schreibfläche sich darstellen zu lassen; ein zuckender Muskel, eine pulsirende Arterie, der respiratorisch bewegte Luftstrom bedürfen einfacherer oder complicirterer Zwischenapparate, die durch schreibende Spitzen die auf sie übertragene Bewegung der vorübergeführten Registrirfläche übermitteln müssen. Nicht selten sind zudem noch besondere künstliche Hilfsmittel nöthig, um den untersuchten Vorgang in eine lineare Bewegung zu verwandeln, also überhaupt erst registrirungsfähig zu machen.

Es wird die Aufgabe anderer Abtheilungen dieses Buches sein, diese so mannigfaltigen Vorrichtungen im Einzelnen zu schildern. In diesem Abschnitt sollen zunächst die allgemeinen Grundsätze des Schreibverfahrens behandelt werden. Insbesondere werden die nothwendigen Bemerkungen über die Schreibhebel, über Zeichenspitzen und Zeichenfedern, über Aufstellung und Anlegung der schreibenden Apparate hier ihren Platz finden. Im Anschluss daran sollen einige Schreibvorrichtungen von allgemeinerer Anwendbarkeit geschildert werden.

Erstes Capitel.

Schreibhebel und Schreibspitzen.

Bei sehr vielen Schreibapparaten ist ein wesentlicher Bestandtheil ein mit einer zum Zeichnen geeigneten Spitze versehener Hebel. Vermittelst eines solchen vermag man die zu untersuchende Bewegung in einem beliebig vergrösserten Massstabe darzustellen; dies setzt den Experimentator in den Stand, Einzelheiten und Besonderheiten zu er-

kennen und zu messen, die unvergrössert der Wahrnehmung entgehen würden. In gewissen selteneren Fällen kann andrerseits das Hebelprincip auch dazu benutzt werden, die zu grossen ursprünglichen Bewegungsausschläge passend zu verkleinern. Manche Bewegungen können in ihrer natürlichen Grösse aufgezeichnet werden.

Der Schreibhebel besteht in der Regel aus einem um eine Axe leicht beweglichen Stäbchen oder Streifen, an welchem einerseits das untersuchte Organ angreift, und der andrerseits vermittelst einer an das eine Ende angesetzten Schreibspitze oder Schreibfeder auf die bewegte Fläche zeichnet.

Je nach den Zwecken, die man verfolgt, kann das für den Schreibhebel zu wählende Material ein verschiedenes sein. Meistens sollen die Hebel möglichst leicht sein; man benutzt deshalb gern dünne Streifen aus Holz, Stroh, Schilf; auch Aluminium ist zuweilen geeignet. Um steife und doch leichte Hebel herzustellen, klebt Fick zwei Schilfstreifen mit Leim aneinander. Rosenthal füllt einen Strohhalm mit warmer Leimlösung, bringt ihn sodann in eine Presse, die ihn so lange kräftig zusammenpresst, bis der Leim ganz erstarrt ist. Man erhält auf diese Weise lange, leichte Streifen von etwa 2 *mm* Breite, welche steif sind und sich deshalb für mancherlei Versuche wohl empfehlen. Empfehlenswerth sind auch Schreibhebel, die aus einem guten geraden, weiter gar nicht bearbeiteten Stück eines Strohhalms bestehen. Im Handel sind lange und sehr gleichmässige Halme (angeblich aus amerikanischem Stroh) zu haben, die sich für diese Zwecke sehr gut eignen.

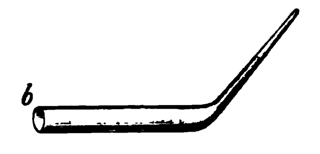
Je geringer die Masse eines Schreibhebels ist, desto treuer wird er die Stärke und die Form der auf ihn wirkenden Bewegungen in der Zeichnung wiedergeben. Man vermeidet deshalb die schweren Hebel, wo es irgend angeht; doch gibt es auch Fälle, in denen die Benutzung solcher sogar erwünscht sein kann. Durch die später zu erwähnende Aequilibrirung eines schweren Hebels werden die üblen Folgen seiner Schwere nicht vermindert; im Gegentheil sie werden gesteigert, da das Compensationsgewicht die träge Masse noch mehr vergrössert.

Am freien Hebelende befindet sich die Zeichenspitze. Dieselbe stellt man sich, falls auf berusste Flächen gezeichnet werden soll, aus einer Nähnadelspitze her oder aus fein geschabtem Fischbein, aus zugespitzten Stücken von Federkielen, aus passend zugeschnittenen Metallstreifchen, aus Glasfäden, aus Rosshaar, aus einem Barthaar vom Kaninchen u. s. w. Ich gebe unter den verschiedenen Materialen dünn ausgewalztem Aluminiumblech, das mittelst einer feinen Scheere leicht zu passenden Formen geschnitten werden kann, den Vorzug.

Die Spitze wird an den Hebel am besten mit einem Minimum von Klebwachs oder von Kolophoniumkitt angeklebt. Man kann auch, wie das bei den Marey'schen Apparaten der Fall zu sein pflegt, kleine dünne Metallhülsen zur Aufnahme der Spitze am Hebel anbringen.

Soll auf nicht berusstes Papier geschrieben werden, so muss man als Schreibspitze eine Feder benutzen, die mit Tinte oder Farbe schreiben kann (Farbschreiber). Zu diesem Zwecke hat man in früherer Zeit feine Pinsel benutzt, die mit Tuschelösungen durchtränkt wurden. Ludwig führte Glasfedern ein von der in Fig. 23 *a* und *b* (in nat. Gr.) gezeichneten Form. Besonders die als *a* bezeichnete kleine Pfeife wird viel benutzt. Man kann sie statt aus Glas auch aus Hartgummi herstellen. Füllt man eine solche Feder mit einer wässerigen Farbstofflösung (Anilinfarbe) oder mit Tinte, und lehnt man ihre Spitze gegen die bewegte Fläche, so tritt die Farbe langsam aus der feinen Spitzenöffnung hervor, und man kann damit gute Aufzeichnungen erhalten. Von Zeit zu Zeit erschöpft sich der Inhalt; man muss dann Farbe nachfüllen.

Bei einer von Dew-Smith angegebenen Vorrichtung saugt die aus einer rechtwinkelig nach unten abgebogenen Silberkapillare bestehende Feder ihren Vorrath selbst aus einem mit ihr in Verbindung stehenden Tintenfässchen.



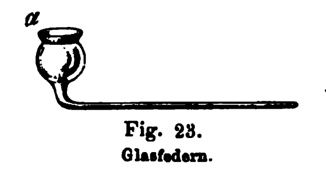


Fig. 23.
Glasfedern.

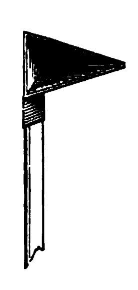
Westien empfiehlt Gänseposen oder mehr noch Taubenfedern von der Form der gewöhnliehen Stahlfeder, deren Hohlseite nach oben sieht. Sie werden mit einer Tinte gefüllt, die nach folgender Vorschrift bereitet werden soll:

Galläpfel	1·8	Gewichtstheile
Gummi arabicum	7	„
Eisenvitriol	7	„
Wasser	96	„

Die pulverisirten Stoffe werden mit dem Wasser gemischt; die Mischung wird gut durchgeschüttelt und erst nach einigen Wochen filtrirt. Man kann mit Hilfe solcher Federn auf gut geglättetes Papier Aufzeichnungen von beliebiger Feinheit machen.

Eine Schreibfeder, die nach meinen Erfahrungen Vortreffliches leistet, ist die in Fig. 24 (in doppelter Grösse) wiedergegebene; sie ist, so viel mir bekannt, französischer Herkunft, kann aber auch von Fuess in Berlin

bezogen werden.[1]) Sie ist aus dünnem Neusilberblech hergestellt; ihre Capacität ist so gross, dass sie einmal gefüllt, ziemlich lange vorhält. Ihre gespaltene leicht abgestumpfte Spitze, die senkrecht zur Schreibfläche angelegt wird, zeichnet auf glattes Schreibpapier Linien von grosser Feinheit. Die Füllung soll aus Anilinfarbstofflösungen, etwa Methylviolett, bestehen. Der Schreibeflüssigkeit kann man, wie Marey räth, bei allen diesen Farbschreibern etwas Glycerin zusetzen; dadurch verhindert man das sonst oft störende Eintrocknen während des Versuches.


Fig. 24. Farbschreiber.

Diese Art der Curvenzeichnung erspart das lästige Anrussen und Lackiren des zur Aufnahme der Zeichnung dienenden Papiers. Man kann mit einem Farbschreiber auf einfaches Schreib- oder Briefpapier zeichnen, und zur Aufbewahrung der Curvenzeichnungen bedarf man keiner weiteren Massnahmen. Dennoch hat auch diese Schreibweise ihre Unbequemlichkeiten. Bei den wohl am häufigsten angewendeten Glasfedern hat man bald mit zu engen, bald mit zu weiten Spitzen zu kämpfen. Während der Versuchspausen verstopft sich die Feder leicht, oder sie lässt ihren Inhalt auslaufen und verschmiert das Papier. Unbequem ist auch, dass sie nach dem jedesmaligen Gebrauch abgenommen und sorgfältig gereinigt werden muss. Vor allem aber belastet sie, wenn nicht schon dnrch ihre eigene Schwere, so doch durch das Gewicht ihres Inhaltes, das Ende des Schreibhebels derartig, dass für gewisse Aufzeichnungen, bei denen man diesen sehr leicht machen muss, am allerwenigsten ihn aber an seinem Ende stark beschweren darf[2]), die Benutzung von Farbschreibern so gut wie ausgeschlossen ist. Für andere Fälle, wie z. B. bei Manometerversuchen am unendlichen Papier leisten diese dagegen sehr gute Dienste, und einige Übung lehrt, der kleinen Tücken des Verfahrens Herr zu werden.



Fig. 25.

Die Länge des Schreibhebels, gemessen durch die Entfernung von der Drehaxe bis zur Spitze, wird bald grösser bald kleiner genommen. Dafür wird im einzelnen Falle das Bedürfnis stark oder schwach vergrösserter Aufzeichnung bestimmend sein. Bedient man

[1]) Federn dieser Art werden an manchen meteorologischen Registrirapparaten angebracht.

[2]) Auf die Fehler, die durch schwere Schreibhebel veranlasst werden, wird im speciellen Theil näher eingegangen werden.

sich, was die Regel ist, eines einarmigen Hebels, so ist, wenn *a* (Fig. 25) die Drehaxe desselben darstellt, *b* die Stelle, an welcher die bewegende Kraft angreift, und *c* die Schreibspitze, die Vergrösserung

$$v = \frac{a\,c}{a\,b}.$$

Eine Vermehrung dieser Vergrösserung lässt sich erreichen entweder durch Verlängerung von *a c*, d. h. des ganzen Hebels, oder durch eine Verkürzung von *a b*. Ist die Hebellänge eine gegebene, so wird die vergrössernde Wirkung des Hebels am meisten ausgenutzt, wenn *b* dem Axenlager so nahe als möglich rückt. Da es wünschenswerth ist, die Hebellänge in verschiedenen mit demselben Apparat angestellten Versuchen ungeändert zu lassen, macht man vielfach, um veränderliche Vergrösserungen zu erzielen, die Stelle *b* dadurch variabel, dass man auf dem Hebel eine kleine verschiebbare Metallhülse anbringt, an welcher der zeichnende Muskel u. s. w. mittelst eines Häkchens angreift; oder man hilft sich dadurch, dass man den Hebel längs seiner Längenaxe mit kleinen Löchern versieht (Fig. 26), an denen dann nach Belieben näher oder entfernter dem Drehpunkt die bewegende Kraft angebracht werden kann.

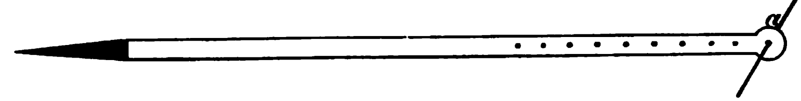


Fig. 26.
Schreibhebel mit veränderlichem Angriffspunkt der bewegenden Kraft.

Eine Hebellänge von 150 bis 165 *mm* dürfte für die meisten Fälle, z. B. besonders für die Marey'schen Schreibkapseln, die passendste sein. Bei gewissen myographischen Versuchen, bei denen es nicht selten wünschenswerth wird, die Geschwindigkeit der Schreibspitze recht gross werden zu lassen, hat man auch Hebel bis zu 250 *mm* Länge verwendet, die, wenn der Muskel 5 *mm* entfernt von der Axe angreift, den Muskelhub im Verhältnis von 1 : 50 vergrössern. Andererseits kommt man in manchen Fällen mit weit kürzeren Hebeln aus. Je grösser man die Hebellänge macht, desto mehr wird man darauf zu achten haben, dass das angewendete Material leicht sei, die Masse des Schreibapparates also eine möglichst kleine bleibe.

Die Axe des Schreibhebels lässt sich oft sehr einfach herstellen. Ein mit glühender Nadel in den Schilfstreifen gebohrtes Loch, durch welches man eine beiderseits in Korkstücken befestigte Nähnadel steckt, reicht für manche Fälle aus. In anderen muss die Axe vom Mechaniker gearbeitet sein soll bei den Bewegungen die Reibung eine mög-

lichst geringe sein, so muss die Axe „in Spitzen“ laufen, und der gegen diese Spitzen geübte Druck sorgfältig regulirt worden.

So gering das Gewicht eines Hebels auch sein mag, für manche Untersuchungen, in denen der Schreibapparat selbst auf sehr schwache Einwirkungen reagiren soll, wird es immer noch zu gross. Man muss es dann durch ein Gegengewicht compensiren. Bei schwereren Vorrichtungen kann eine solche Compensirung natürlich besonders wünschenswerth werden.[1]) Man verlängert in derartigen Fällen den Hebel über seine Axe hinaus, und bringt auf dem so gewonnenen zweiten Hebelarm ein kleines durch eine Schraube festzustellendes Laufgewicht (*g* in Fig. 27) an. Oder man gibt diesem Arm ein

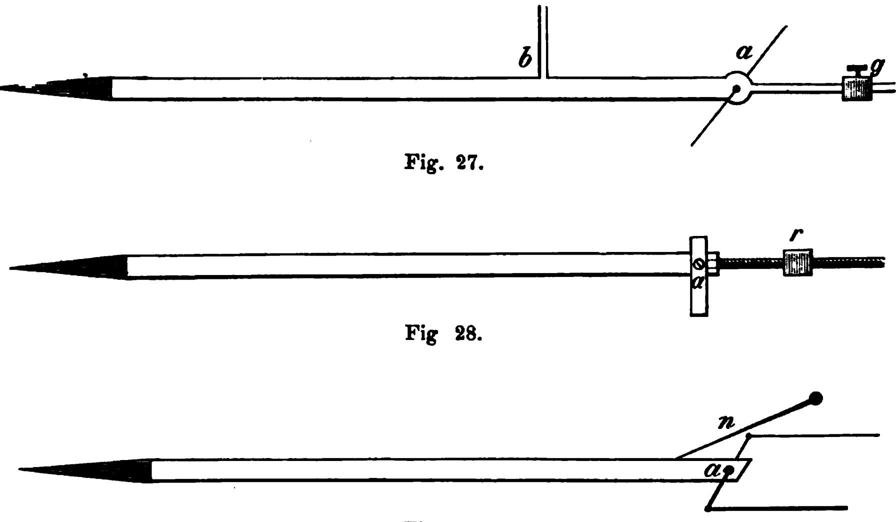


Fig. 27.

Fig 28.

Fig. 29.

Fig. 27—29. Aequilibrirung des Schreibhebels.

Schraubengewinde, auf welchem ein Metall- oder Elfenbeinröllchen läuft (*r* in Fig. 28). Ist der Hebel leicht, so genügt das Aufsetzen eines kleinen Reiters aus dünnem Metalldraht, wie er beim Wägen benützt wird, zwischen dessen Beine der zweite Hebelarm geklemmt wird. Natürlich ist, je grösser die zu äquilibrirende Last wird, desto mehr das Moment des Gegengewichtes zu vergrössern, die Entfernung desselben von der Hebelaxe zu vermehren.

---

[1]) Schon oben wurde erwähnt, dass die Kompensirung des Hebels die aus seiner grossen Masse entstehenden Fehler nicht vermindert, sondern vergrössert. Die Äquilibrirung der Schreibhebel wird deshalb nur angewendet, um ihre Empfindlichkeit zu vermehren, oder um den durch den Schreibapparat ausgeübten Druck oder Zug zu vermeiden.

Eine sehr einfache Äquilibrirungsweise ist folgende: Man befestigt mit Kolophoniumkitt nahe der Axe des Zeichenhebels an diesem die Spitze einer Stecknadel (*n* in Fig. 29) in der Art, dass die Nadel, schräg nach hinten gestellt, mit ihrem Kopfe über die Axe hinaus sieht. Je nach der Neigung, die man ihr gibt, übt man eine grössere oder geringere Gegenwirkung aus.

Zweites Capitel.

Seitliche Schreibung und Stirnschreibung.

I. Die Bogenabweichung der Schreibhebelzeichnung und die Abweichung wegen der Cylinderkrümmung.

Schreibhebel sind an sehr zahlreichen zur Registrirung dienenden Vorrichtungen angebracht; mancher Schreibapparat besteht geradezu nur aus einem zeichnenden Hebel. Zur Gewinnung der Aufzeichnungen muss der Apparat sicher aufgestellt, und die Zeichenspitze der vorbeizuführenden Registrirfläche angelegt werden.

Die Stellung des Schreibhebels zur letzteren kann nun eine zweifache sein. Entweder steht die Zeichenspitze normal zur Schreibfläche, oder sie legt sich von der Seite her an diese an.

Die seitliche oder tangentiale Schreibung findet in allen denjenigen Fällen Anwendung, in denen es sich um Schreibhebel handelt, die mit einfachen Zeichenspitzen ausgestattet sind. Die Normalschreibung oder Stirnschreibung setzt in der Regel besondere Einrichtungen des schreibenden Hebelendes voraus.

Betrachten wir die Schreibweise eines gewöhnlichen Zeichenhebels, so erkennen wir sofort, dass die Schreibspitze bei ihren Excursionen nicht einfach senkrecht auf und abgehen kann, sondern dass sie einen Bogen beschreibt, dessen Halbmesser der Länge des Hebels gleich ist. Lassen wir einen solchen Hebel einer geschwärzten Glastafel sich seitlich anlegen, so zeichnet er, in Bewegung gesetzt, auf die ruhende Fläche eine kreisbogenförmige Linie. Dieser Bogen ist die Ordinatenaxe aller Curven, welche der Schreibhebel bei bewegter Fläche zeichnen würde. Solche Curven gehören also strenggenommen nicht einem rechtwinkeligen Coordinatensystem an, sondern einem solchen, dessen Abscissen gerade Linien, dessen Ordinaten aber Kreisbögen sind.

Im Vergleich mit einer auf geradlinige Ordinaten zu beziehenden Curve wird eine so gezeichnete verzerrt erscheinen müssen. Jeder Punkt der Curve wird nämlich den entsprechenden Abscissenpunkten gewissermassen etwas voraneilen, im Sinne des Curvenverlaufes verschoben sein, und die Abweichung ihrer einzelnen Punkte wird um so grösser sein müssen, je höher die Curve sich erhebt. Wir wollen diesen Fehler der Aufzeichnungen kurz als Bogenabweichung der Curven bezeichnen.

Ist in Fig. 30 xx die auf die Registrirfläche gezeichnete Abscissenlinie, so wird ein einfacher, nicht hebelnden Schreibstift bei seinem Auf- und Absteigen eine zu dieser durchaus senkrechte Linie y beschreiben. Ist der Schreibstift aber am Ende eines Hebels befestigt, so zeichnet er die Bogenlinie y'. Es ist nun klar, dass wenn der Hebel eine Curve k' schreibt, dieselbe in allen ihren Punkten von

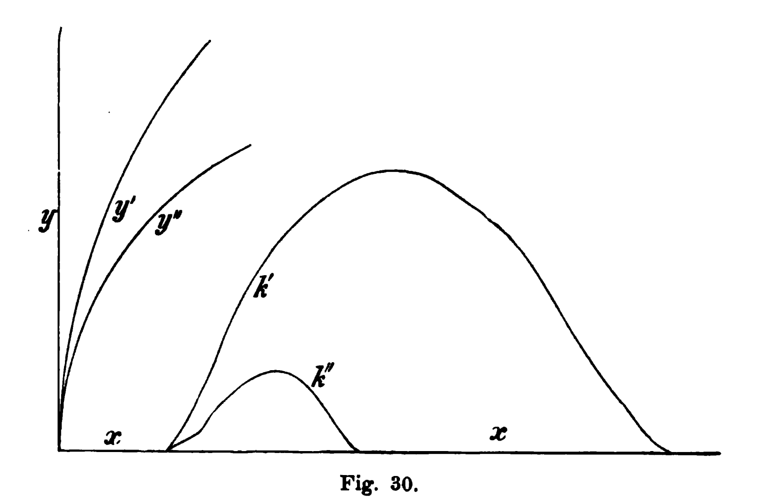


Fig. 30.

der Lage einer mit dem ersterwähnten Schreibstift gezeichneten in demselben Sinne und um denselben Werth abweichen wird, um welchen in der betreffenden Höhe die geradlinige Ordinatenaxe y von der bogenförmigen y' abweicht. Bei geringen Erhebungen über die Abscisse wird demgemäss die Abweichung der Curve eine geringe sein, während sie in grösseren Höhen beträchtlich wird. Für die graphische Technik folgt daraus, dass Curven von geringer Höhe, wie z. B. k'', weniger unter dem Fehler der Bogenabweichung zu leiden haben, als hohe Curven. Weiter ist zu bemerken, dass der Fehler um so weniger merklich sein muss, je grösser der Radius des Hebels ist, mit welchem man schreibt. Bei kleinerem Radius ist selbstverständ-

licher Weise die Krümmung des Bogens eine weit grössere. Man erkennt das deutlich aus der Fig. 30, in der *y'* die Ordinatenaxe für einen Hebelradius von etwa 88 *mm*, *y''* für einen von etwa 47 *mm* darstellt.

Für die aus der Bogenabweichung des Schreibhebels entstehenden Fehler der Curve ist, wie später (Abschnitt VI, Cap. III) gezeigt werden soll, eine genaue Correction möglich. Man hat es aber ausserdem, wie aus dem Gesagten hervorgeht, stets in der Hand, den Fehler dadurch zu verringern, dass man 1. die Grösse des Radius vermehrt und 2. die Curvenhöhe möglichst einschränkt. Beides zugleich wird man beispielsweise bei der Aufschreibung von Muskelzuckungen dadurch erreichen können, dass man einen langen Zeichenhebel benutzt, aber, um die Excursionen der Zeichenspitze nicht zu sehr zu steigern, den Muskel an einem von der Drehaxe recht entfernten Punkte des Hebels angreifen lässt.

Handelt es sich um die Benutzung einer ebenen Zeichenfläche, so beschränkt sich der Fehler des seitlich schreibenden Hebels auf die erwähnten Punkte. Hat man es aber mit einem registrirenden Cylinder zu thun, so wird man sich, worauf besonders Rollett in seinen Untersuchungen über die Schreibweise der myographischen Apparate aufmerksam gemacht hat, erinnern müssen, dass die tangential schreibende Hebelspitze in Folge der Krümmung der Cylinderoberfläche keine ebene Curve schreiben kann, dass sie vielmehr eine Raumcurve verzeichnet, die nicht auf zwei, sondern auf drei zu einander senkrechte Coordinatenaxen bezogen werden muss.[1])

Die Bogenordinaten *y'* und *y''*, (in Fig. 30) entsprechen also, falls sie einem abgewickelten Cylindermantel angehören, nicht Abschnitten von Kreislinien, sondern complicirteren Curven. Indessen hat Rollett auf empirischem Wege und Dantscher durch Rechnung dargethan, dass für Hebelausschläge, welche sich innerhalb der gewöhnlich innegehaltenen Grössen bewegen, der aus der Krümmung der Schreibfläche entstehende Fehler der Curve so unbedeutend ist, dass er vernachlässigt werden kann. Im übrigen ist, wie später

[1]) Ein völlig steifer Hebel würde, wie Rollett treffend ausgeführt hat, auf eine Cylinderfläche überhaupt nicht schreiben können; denn bei einer gewissen Erhebung müsste die Spitze sich von der Schreibfläche entfernen. Dass dies bei unseren Zeichenhebeln nicht geschieht, verdanken wir der federnden Beschaffenheit der Hebel oder ihrer Spitzen. Durch sie wird es möglich, dass die Spitze sich stets an die Cylinderfläche anschmiegt. Dabei geht es freilich ohne Längenänderungen des Hebels nicht ab; indess sind diese bei nicht allzu bedeutender Excursionsgrösse so gering, dass sie nicht im Stande sind, die Curvenzeichnung merklich zu verändern.

gezeigt werden soll, eine Correction auch dieses Fehlers nicht schwer. Auch sei darauf hingewiesen, dass die auf den Cylindermantel gezeichnete Curve naturgemäss um so weniger von einer ebenen Curve sich unterscheiden wird, je mehr die Cylinderoberfläche einer ebenen Fläche sich nähert. Es ist deshalb zweckmässiger, Cylinder von grossem Durchmesser zu wählen.

Vielfach hat man sich bestrebt, allen Fehlern der Tangentialschreibung dadurch vollständig aus dem Wege zu gehen, dass man durch eine am Hebelende angebrachte Vorrichtung der Zeichenspitze eine Geradführung gab und damit die seitliche Aufzeichnung durch eine Stirnschreibung (Normalschreibung) ersetzte.

II. Die Geradführung der Zeichenspitze.

Die Verwandlung der bogenförmigen Ausschläge der Zeichenhebelspitze in geradlinige geschieht im allgemeinen dadurch, dass man dem Hebelende eine bewegliche Spitze anfügt, die, normal zur Schreibfläche gestellt, durch elastische oder andere Kräfte so gegen sie angedrückt wird, dass sie bei ihren Auf- und Abwärtsbewegungen den Contact mit derselben nie verliert.

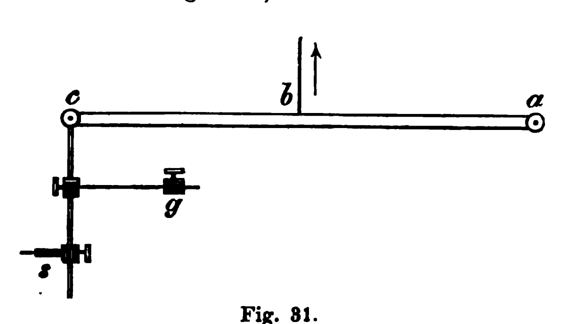


Fig. 31.

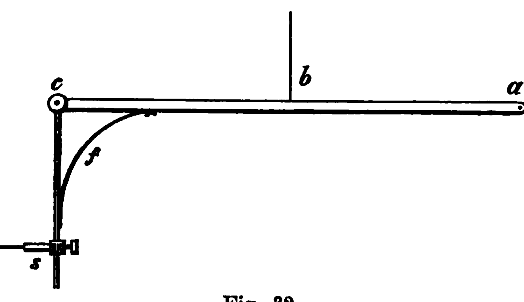


Fig. 32.

Fig. 31 und 32. Helmholtz'sche Geradführung der Schreibspitze.

Schon bei einer der ersten physiologischen Registrirvorrichtungen, dem Myographion von Helmholtz, arbeitete der Muskel an einem zur Stirnschreibung eingerichteten Hebelwerk. Die genauere Schilderung desselben wird im speciellen Theil gegeben werden; hier mögen nur zwei schematische Abbildungen Platz finden, die das Princip erläutern sol-

len. Bei der einen der beiden hier dargestellten Vorrichtungen wird die den Schreibstift *s* andrückende Kraft von einem Gewicht, bei der anderen durch eine Feder geliefert. [1])

In beiden Abbildungen ist *a* die Drehungsaxe des Hebels, *b* der Angriffspunkt des an ihm ziehenden Muskels, *c* ein Gelenk, in welchem ein Arm hängt, der die senkrecht von ihm abgehende Schreibspitze *s* trägt. [2]) In Fig. 31 wird die stete Anlegung dieser Spitze an den Myographioncylinder durch die Wirksamkeit des Laufgewichtes *g* erzielt, das, je näher es dem senkrechten Arme steht, desto weniger, je weiter von ihm, desto stärker die Schreibspitze andrückt.

In Fig. 32 wird das, was in Fig. 31 das Gewicht besorgte, durch die Feder *f* geleistet. Indem man die Spitze so gegen den Cylinder lehnt, dass die Feder bei der Ruhelage des Hebels etwas gespannt ist, bewirkt ihr bei zunehmender Erhebung der Schreibspitze wirksam werdender Druck, dass die Spitze den Contact mit der Schreibfläche fortdauernd bewahrt. Ähnliche Vorrichtungen lassen sich ausser an myographischen, natürlich auch bei anderen Apparaten verwenden.

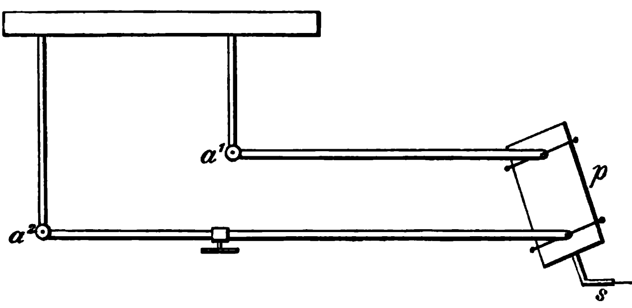


Fig. 33.
Geradführung der Schreibspitze (Vierordt.)

In etwas umständlicher Weise erzielte Vierordt die Geradführung bei seinem Sphygmographen. Er benutzte dazu ein Watt'sches Parallelogramm *p* in Fig. 33, an welchem die Schreibspitze *s* hing. Die Wirkungsweise desselben dürfte aus der Abbildung verständlich sein.

---

[1]) Die von Helmholtz in seiner Mittheilung vom Jahre 1852 gegebene Abbildung repräsentirt den ersteren Fall; bei dem im Königsberger physiologischen Institut befindlichen Myographion, welches jedenfalls eines der ersten Instrumente dieser Art gewesen ist, übt eine Feder den nöthigen Druck auf die Schreibspitze.

[2]) In Wirklichkeit zieht der Muskel an einem um eine Axe beweglichen Rahmen, und der die Schreibspitze (und das Laufgewicht) tragende Arm hängt von einer an diesem Rahmen befindlichen in einem Spitzenlager beweglichen Welle herab.

Einrichtungen dieser Art waren unbedenklich, so lange man schwere Schreibvorrichtungen benutzte, bei denen eine etwas grössere Mehrbelastung nicht von Bedeutung war. Man ist jetzt dagegen bestrebt, Schreibvorrichtungen von möglichst geringer Masse herzustellen. Dem entsprechend hat man auch versucht, Geradführungen von grösserer Leichtigkeit herzustellen. Fig. 34, 35 und 36 bilden einige derartige Einrichtungen ab. Die einfachste davon ist die in Fig. 34 dargestellte; *f* ist hier eine am Schreibhebel befestigte Stahlfeder, die an ihrer stärksten Krümmung die Spitze *s* trägt. In Fig. 35 setzt sich an das Ende des Hebels ein aus einem Glasfaden gebogener federnder Bügel *b* an, dessen Vorderende die Schreibspitze *s* darstellt. In Fig. 36 endlich trägt der Schreibhebel vorn eine leichte Metallgabel *g*, durch die eine Axe *a* leicht drehbar durchgesteckt ist. An diese ist eine etwas gebogene Nadel *n* angelöthet, deren Kopf durch einen an den Hebel befestigten Gummifaden so zurückgehalten wird, dass die Spitze *s* sich mit elastischem Druck gegen die Schreibfläche lehnt. Diese Anordnung ist wohl die vollkommenste der drei hier skizzirten.

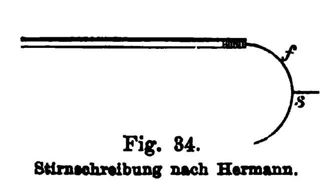


Fig. 34.
Stirnschreibung nach Hermann.

Es ist klar, dass durch Vorrichtungen dieser Art die Bogenabweichung der Curven vermieden wird. Ein solcher Schreibhebel, der natürlich nicht tangential, sondern senkreht (normal) zur Schreibfläche aufgestellt wird, zeichnet bei seinen Erhebungen an Stelle der krummen Ordinate des tangentialen Schreibstiftes eine senkrechte Gerade. Curven, die er aufschreibt, sind ohne weiteres auf das übliche Coordinatensystem zu beziehen. Jedem Curvenpunkt ist der senkrecht darunter gelegene Abscissenpunkt zugehörig.

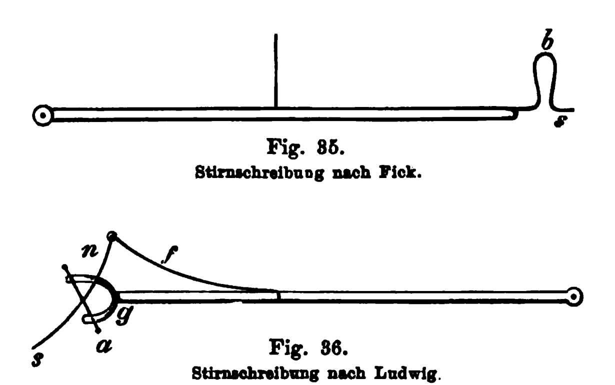


Fig. 35.
Stirnschreibung nach Fick.

Fig. 36.
Stirnschreibung nach Ludwig.

Man darf aber nicht übersehen, dass man mit diesen Vortheilen eine Reihe von Nachtheilen in Kauf zu nehmen hat, die nicht immer von unmerklicher Kleinheit sind.

Der Belastung des Hebelendes durch den Geradführungsmechanismus wurde bereits gedacht. Auch die in Fig. 34 bis 36 dargestellten Schreibspitzen sind immer noch schwerer, als ein Stückchen Aluminiumblech oder eine Fischbeinlamelle. Es muss ferner beachtet werden, dass bei der Benutzung der Geradführungen die Erhebungen des Zeichenstiftes den vom Muskel u. s. w. ausgeführten Bewegungen nicht genau proportional sein können. Der Schreibhebel muss sich nämlich bei seinen Erhebungen mehr und mehr verlängern; er zeichnet in Folge dessen die Curve unter wachsender Vergrösserung. Weshalb dies der Fall sein muss, das wird aus der nebenstehenden Fig. 37 deutlich.

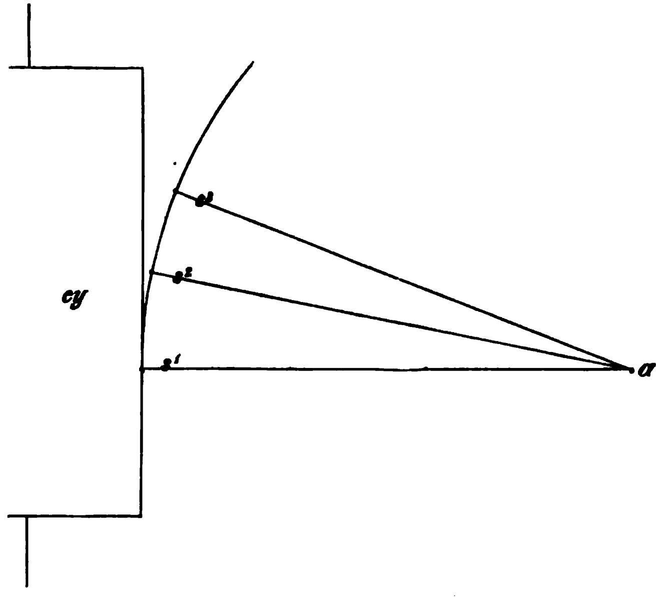


Fig. 37.

Sei as^1 ein Schreibhebel, welcher in horizontaler Ruhelage und normal zum Mantel des Cylinders *cy* aufgestellt ist. Wird der Hebel gehoben, so beschreibt seine Spitze s^1 einen Bogen, der sich immer mehr und mehr vom Cylinder entfernt; eine unveränderlich weit von der Axe *a* entfernte Spitze würde in Folge dessen successive die Stellungen s^2, s^3 u. s. w. einnehmen. Soll nun die Schreibspitze sich stets dem Cylinder anlegen, so ist das nur denkbar, wenn bei wachsenden Er-

hebungen des Hebels die geradlinige Entfernung von *a* zur zeichnenden Spitze in demselben Maasse zunimmt, wie der beschriebene Bogen von der Cylinderfläche abweicht. Dass dies bei der Stirnschreibung in der That der Fall ist, wird aus der einfachen Betrachtung einer jeder Geradführungsvorrichtung sofort ersichtlich. Dadurch ist aber eine mit der Erhebung des Schreibhebels wachsende Vergrösserung der Zeichnung bedingt.

Der daraus entstehende Fehler ist freilich bei langen Hebeln nicht gross; er kann aber bei der Anwendung kürzerer Schreibhebel eine nicht mehr zu vernachlässigende Grösse erreichen.

Dazu kommt zuweilen noch ein anderes. Bei der Benutzung der Schreibapparate hat man meistens den Wunsch, die Schreibspitze mit minimaler und gleichmässiger Reibung auf die Zeichenfläche schreiben zu lassen. Bei manchen Arten der Stirnschreibung ist jedoch die Reibung weder minimal noch gleichmässig. Lassen wir z. B. die Schreibspitze durch eine Feder gegen die Fläche drücken, so wird diese bei der Ruhestellung des Hebels den grössten Druck auf die Spitze ausüben; je höher der Hebel aber steigt, desto mehr wird sich die Feder entspannen müssen, da ja gerade auf dieser successiven Entspannung die Erreichung des stetigen Contactes beruht. Der Druck, mit welchem die Spitze an der Schreibfläche anliegt, wird demgemäss ein abnehmender, die Reibung eine sich allmälig verringernde sein müssen.

Trotz der angeführten Mängel bleibt die Geradführung für manche Fälle ein höchst schätzenswerthes Hilfsmittel der graphischen Untersuchung; im einzelnen Falle wird man aber zu erwägen haben, ob der durch sie erreichte Vortheil, der ja in der Vermeidung der Bogenordinate liegt, die Nachtheile überwiegt oder nicht.

Drittes Capitel.

Schilderung einiger Schreibvorrichtungen allgemeinerer Anwendbarkeit.

I. Fühlhebel und Zughebel.

Sei in Fig. 38 *ab* ein Schilfstreifen, der, bei *a* um eine Axe beweglich, Ausschläge in der Verticalebene machen kann. Unter dem Halme befinde sich, nahe seiner Axe und auf einer festen Unterlage ruhend, ein formveränderlicher Körper *m*, etwa ein ausgeschnittener Muskel, der bei seiner Zusammenziehung sich verdickt, ein Froschherz,

das sich bei jeder Systole aufrichtet. Jedesmal nun, wenn der Körper *m* aus seiner Ruhegestalt in die Form m^1 übergeht, wird der auf ihm liegende Schilfhebel gehoben werden, er wird aus der Lage *a b* in die Lage $a\,b^1$ übergehen. Offenbar wird die Spitze *b* weit stärker ausschlagen, als der Muskel sich erhebt, und die auf diese Weise herbeigeführte Vergrösserung des Vorganges wird um so beträchtlicher sein müssen, je länger der Hebel und je näher *m* der Axe ist. Wäre *b*

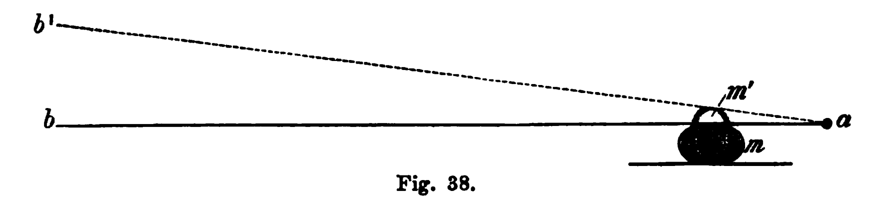


Fig. 38.

mit einer Schreibspitze versehen, und berührte diese in passender Weise eine bewegte Fläche, so würde die Bewegung des Körpers *m* sich in vergrössertem Maasse auf der letzteren aufzeichnen.

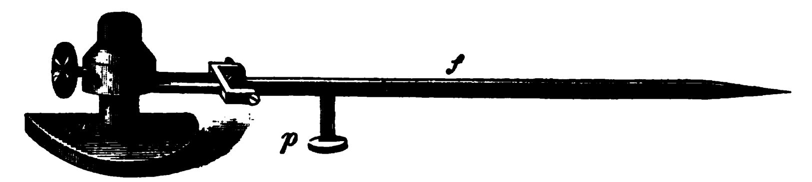


Fig. 39.
Universal-Fühlhebel. (½ nat. Gr.)

Solche Fühlhebel werden öfters zu graphischen Darstellungen verwendet. Schon ein gewöhnlicher Strohhalm, durch dessen eines Ende man eine Nähnadel bohrt, die man auf beiden Seiten in Korkstücken befestigt, und den man mit einer Zeichenspitze versieht, genügt für manche Zwecke. Durch Siegellacktröpfchen, die man seitlich neben dem Hebel auf der Axe anbringt, sichert man ihn gegen seitliche Verschiebungen. Zuweilen ist es zweckmässig, die Stelle des Fühlhebels, unter welche der sich bewegende Muskel u. s. w. zu liegen kommt, mit einem kleinen verticalen Fortsatz zu versehen, der auf dem Muskel ruht. Zu diesem Zwecke kann man an den Strohhalm nahe seiner Axe ein kurzes aus Kork oder Hollundermark geschnittenes Stäbchen kleben. Bei höheren Ansprüchnn wird man vollkommener gearbeitete Fühlhebel benutzen.

Die in Fig. 39 dargestellte Form hat sich dem Verfasser in vielen Fällen als sehr brauchbar erwiesen. *s t* ist ein kleines, mit einem

bleiernen Fuss versehenes Stativ, auf dessen Stange der Fühlhebel *f* vermittelst einer an ihm angebrachten Hülse verstellt werden kann. Derselbe besteht aus einem Streifen von stärkerem Aluminiumblech, der sich in einen mit Schreibspitze versehenen Schilfstreifen fortsetzt. Der Aluminiumhebel hat einen kurzen verticalen aus demselben Metall bestehenden Ansatz, an dessen Ende ein beinernes Plättchen (*p*) befestigt ist. Die Axe des Hebels geht in Spitzen, hat also nur wenig Reibung. Legt man unter das Plättchen ein schlagendes Froschherz, so kann man recht brauchbare Curven aufzeichnen. Für viele andere Zwecke lässt sich die kleine Vorrichtung ebenfalls vortheilhaft verwenden. Natürlich kann man sie auch zur Stirnschreibung einrichten; man gibt dann dem Schreibende des Hebels am besten die im Leipziger Laboratorium übliche Form (s. Fig. 36, Seite 52.)

Zuweilen bedarf man sehr starker Fühlhebelvergrösserungen, trägt aber Bedenken, die Länge des Hebels allzu sehr zu vermehren. Hier hilft man sich durch Benutzung eines Doppelhebels, oder, wie Fick ihn nennt, eines „Potenzfühlhebels.“ Man lässt die bewegende Kraft auf einen kurzen Fühlhebel wirken, der seine Bewegungen wieder auf einen zweiten längeren, mit Schreibspitze versehenen Hebel überträgt, Fig. 40 und 41 geben solche Vorrichtungen wieder.

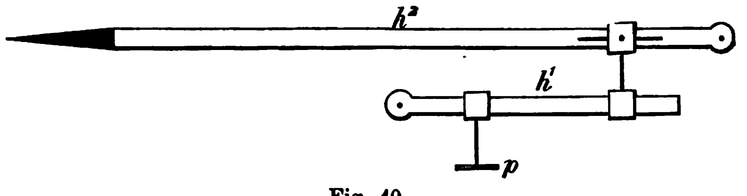


Fig. 40.
Doppelhebel.

In Fig. 40 ist eine Form dargestellt, die derjenigen ähnlich ist, welche Franck zur Autzeichnung des Venenpulses verwendet hat. Die bewegende Kraft wirkt hier vermittelst des Plättchens *p* auf den kurzen Hebel h^1. Derselbe ist durch einen senkrechten Stift mit dem grösseren Hebel h^2 derartig verbunden, dass er nicht weit von dessen Axe angreift. Die Verbindungen der Hebel untereinander und des Hebels h^1 mit der Pelotte sind Gelenkverbindungen. Auch ist Sorge dafür getragen, dass die Angriffspunkte in gewissen Grenzen verschoben werden können.

Es ist klar, dass man mit einem solchen Fühlhebel sehr hohe Vergrösserungen erzielen kann. Nehmen wir an, die bewegende Kraft greife 5 *mm* entfernt von der Axe an h^1 an, und die Articulationsstelle, in welcher h^1 sich mit h^2 verbindet, sei 30 *mm* von der Axe

entfernt, so vergrössert dieser Hebel allein bereits 6 mal. Diese Vergrösserung ist nun mit derjenigen zu multiplicieren, um die der Hebel h^2 vergrössert. Befindet sich dessen Articulation wieder 5 *mm* von seiner Axe entfernt und hat der Hebel selbst eine Länge von 150 *mm*, so ist die Vergrösserung des ganzen Systems $6 \times 30 = 180$. Wollte man eine solche Vergrösserung mit einem Hebel erzielen, an welchen die Kraft ebenfalls in 5 *mm* Entfernung von der Axe angriffe, so müsste man ihm eine Länge von nicht weniger als 900 *mm* geben, während man hier mit zwei Hebeln von 30 und von 150 *mm* ausgekommen ist.

Fig. 41 zeigt eine etwas andere Form des Doppelhebels. Der obere Hebel h^2 besitzt hier einen Fortsatz, der ein kleines verstellbares Gegengewicht trägt, welches bei passender Einstellung seine Masse compensirt. Noch zweckmässiger ist es, das Gegengewicht am unteren Hebel anzubringen.

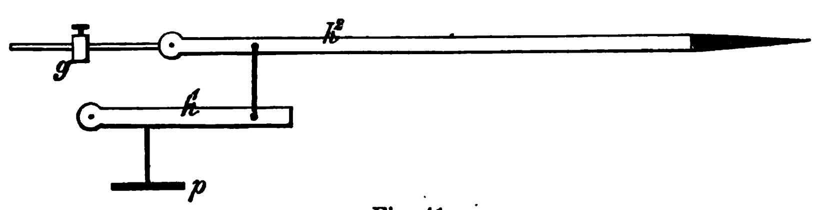


Fig. 41.
Doppelhebel mit Gegengewicht.

Zughebel bilden wesentliche Bestandtheile vieler Schreibapparate; wie die Fühlhebel können sie aber auch allein und schon bei sehr primitiver Bauart sich vielfach nützlich erweisen. Am häufigsten finden sie in der Myographie Anwendung, wenn es sich darum handelt, die Verkürzung eines Muskels aufzuschreiben.

Fig. 42 zeigt, wie zu diesen und ähnlichen Zwecken ein solcher Schreibhebel sich verwenden lässt. Gewöhnlich belastet man ihn, wie hier, mit einem Gewicht g, welches der hebenden Kraft, die in m angreift, entgegenwirkt, das also im gegebenen Falle den Muskel dehnt, belastet und in Folge dessen den Hebel beim Nachlassen des Zuges auch wieder in seine Anfangsstellung zurückbringt.

In Fig. 42 ist die Last gerade unter dem Angriffspunkte der bewegenden Kraft angebracht. Aus Gründen, die später (s. Myographie) angegeben werden sollen, ist es bei der Aufschreibung von Muskelbewegungen oft zweckmässiger, den Muskel möglichst entfernt von der Axe, die Belastung aber möglichst nahe an derselben angreifen zu lassen.

Zu diesem Zwecke schlingt man die das Gewicht haltende Schnur um die Axe selbst oder, wie in Fig. 43, um ein Röllchen, das mit derselben verbunden ist. (*g* ist auch hier wieder das belastende Gewicht, *m* der Angriff der ziehenden Kraft.)

Der ziehende Muskel muss bei Benutzung dieser Vorrichtungen natürlich vertical aufgehängt sein, damit er am Hebel ziehen kann. Zuweilen hat aber die bewegende Kraft eine horizontale Richtung. Man kann

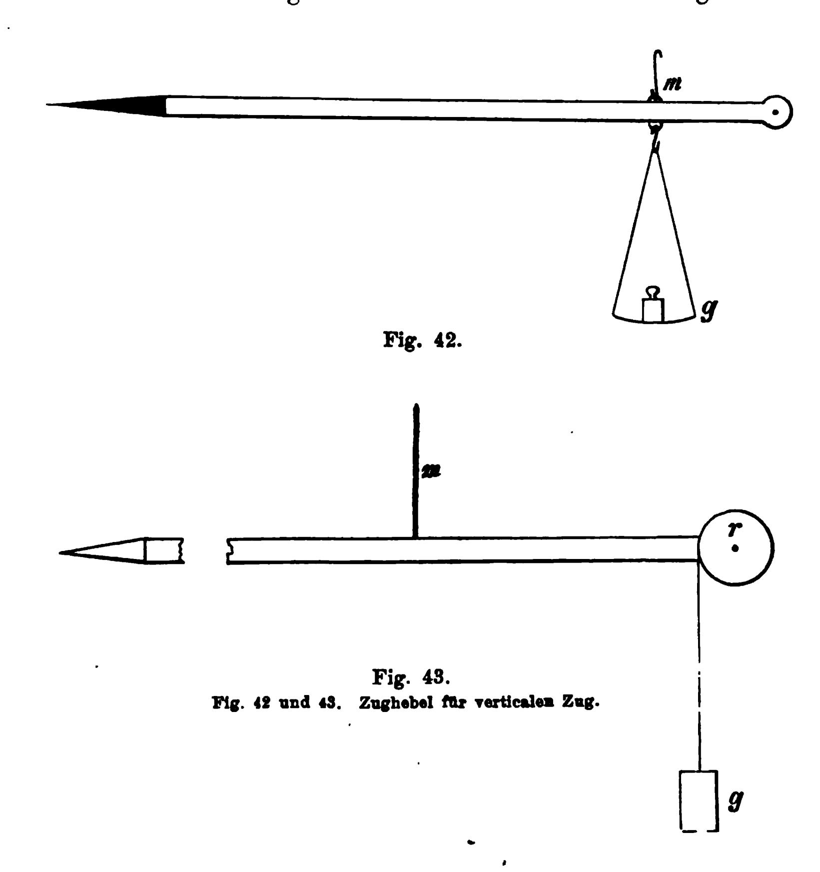


Fig. 42.

Fig. 43.

Fig. 42 und 43. Zughebel für verticalen Zug.

dann den Hebel so stellen, dass er sich in einer horizontalen Ebene bewegt; der das Gewicht tragende Faden muss in diesem Falle über eine um eine quere Axe drehbare Rolle geführt werden. Will man dagegen auch hier den senkrecht ausschlagenden Hebel benutzen, so kann man an oder über ihm ein leicht bewegliches Röllchen anbringen, und über dieses einen Faden legen, vermittelst dessen der horizontale Zug am Hebel angreift. Der in Fig. 43 gezeichnete Hebel ist leicht in entsprechender Weise herzurichten.

Einen recht brauchbaren Apparat dieser Art gibt Fig. 44 wieder. Die Rolle *r* ist um eine wagerechte Axe leicht beweglich, der Hebel *h* ist mit ihr fest verbunden. Ein Seidenfaden ist mehrfach um die Rolle geschlungen; sein eines Ende hängt herunter und trägt das Gewicht *g*, das andere geht horizontal von der Rolle weg und dient der in der Richtung *z* wirkenden Kraft zum Angriff. Wirkt der Zug, so hat er den Gewichtswiderstand *g* zu überwinden; die Rolle dreht sich dabei um ihre Axe und der mit ihr verbundene Hebel schlägt nach oben aus.

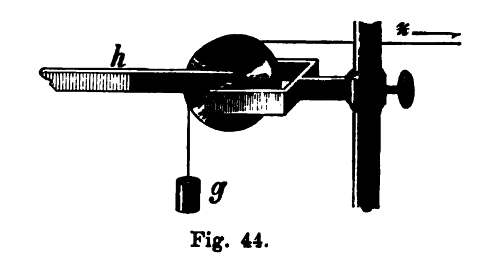


Fig. 44.

Eine etwas andere Einrichtung ist in Fig. 45 dargestellt. Hier hat Hebel und Rolle jedes seine eigene Axe. Von der das Axenlager des ersteren tragenden Metallplatte geht nach oben ein Arm *a* ab, der die leicht drehbare Rolle *r* trägt. Der Arm ist vorzuschieben und zurückzuziehen, so dass die Rolle nach Belieben über einer mehr nach vorn oder mehr rückwärts gelegenen Stelle des Hebels

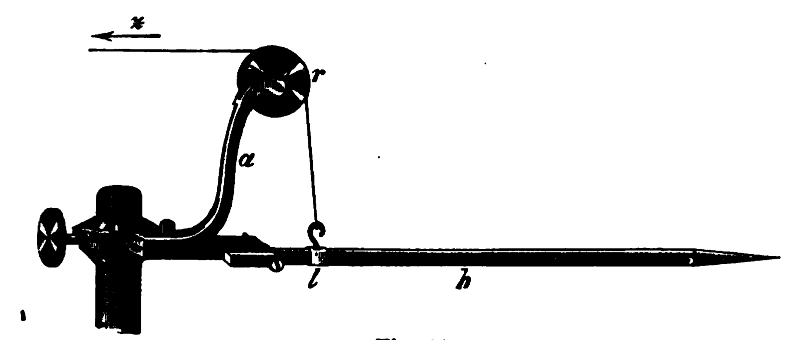


Fig. 45.

Fig. 44 und 45. Zughebel für horizontalen Zug. (nat. Gr.)

festgestellt werden kann. Der Hebel trägt eine kleine Metallhülse, einen Läufer *l*, an den ein Häkchen angelöthet ist, welches dem über die Rolle zu führenden Faden zum Ansatz dient. Je nach der Stellung der Rolle schiebt man den Läufer vor oder zurück. Die an dem Hebel wirkende Kraft zieht in der Richtung *z*.

Sollte die Schwere des Hebels allein nicht ausreichen, um ihn nach Aufhören des Zuges in seine Ruhestellung zurückzuführen, so kann man unterhalb des Läufers ein Gewicht anhängen. Man wird dasselbe gern entbehren, wenn es sich darum handelt, Bewegungen von geringer Stärke aufzuzeichnen; gerade für solche empfiehlt sich diese Form des Hebels besonders.

II. Das Verfahren der Luftübertragung.

Der Gedanke, auf dem Wege der Luftübertragung Bewegungen entfernt stehenden Schreibapparaten zu übermitteln, ist zuerst im Jahre 1858 von Buisson verwirklicht worden, nachdem schon vorher der Amerikaner Upham zu verwandten Zwecken ähnliche Vorrichtungen benutzt hatte. Die Ausbildung, welche diese Methode gegenwärtig erlangt hat, verdankt man den unausgesetzten Bemühungen Marey's, in dessen Händen sie zu einem der werthvollsten Hilfsmittel der graphischen Forschung geworden ist.

Das Princip des Luftübertragungsverfahrens ist folgendes. Denkt man sich die Oeffnungen zweier flacher Metallschalen mit Kautschukmembranen verschlossen, nimmt man ferner an, die Innenräume dieser Schalen ständen mit einander durch einen Gummischlauch in Verbindung, so ist klar, dass wenn man einen Druck ausübt auf die Membran der einen Schale, die der anderen sich emporwölben wird. Brächte man nun auf dieser letzteren einen leichten Hebel an, der die Bewe-



Fig. 46.
Marey'sche Schreibkapsel. (²/₃ nat. Gr.)

gungen der Membran mitmachte und vergrössert wiedergäbe, so erhielte man dadurch eine Vorrichtung, welche im Stande sein müsste, Bewegungen, die auf die Membran der ersten Schale wirken, in beliebiger Entfernung von der Bewegungsquelle aufzuzeichnen. Marey bezeichnet eine solche Schale als tambour, Trommel. Wir wollen sie Marey'sche Kapsel nennen, und wollen als Schreibkapsel oder Zeichenkapsel die mit dem Schreibhebel versehene (tambour inscripteur) bezeichnen, während die andere, zur Aufnahme der Bewegung bestimmte (tambour manipulateur, tambour explorateur) Aufnahmekapsel genannt sein möge.

Die Marey'schen Kapseln.

Marey gibt der Schreibkapsel die in beistehender Abbildung (Fig. 46) dargestellte Form.

Der flache Metallkessel *k* ist mit einer Kautschukmembran *m* überzogen. Auf diese ist eine dünne Aluminiumplatte *p* aufgeklebt,

die mit einem verticalen Stiftchen articulirt, welches an seinem oberen Ende, ebenfalls durch ein Gelenk, mit dem Schreibhebel *h h* sich verbindet. Die Axe dieses aus Schilf oder einer dünnen Holzlamelle bestehenden Hebels geht reibungslos in Spitzen. Durch Bewegungen am Handgriff *g* kann er gehoben und gesenkt werden. Der Angriffspunkt des die Aluminiumplatte mit dem Hebel verbindenden Stiftes an letzterem kann, durch Verschiebung der oberen Gelenkverbindung in einem Schlitze des Hebels, der Axe genähert oder von ihr entfernt werden. Die Kapsel lässt sich für jede solche Einstellung in die ihr zukommende Lage bringen durch Drehung der Schraube *s*, durch die sie nach vorn oder zurück rückt. Auf diese Weise lässt sich die Vergrösserung des Schreibhebels und damit die Empfindlichkeit der Kapsel in genügend weiten Grenzen verändern.

Das Innere der Kapsel steht mit einer kurzen Röhre *r* in Verbindung; über sie wird der zuleitende Gummischlauch gezogen. Dieser ist mit der Aufnahmekapsel verbunden.

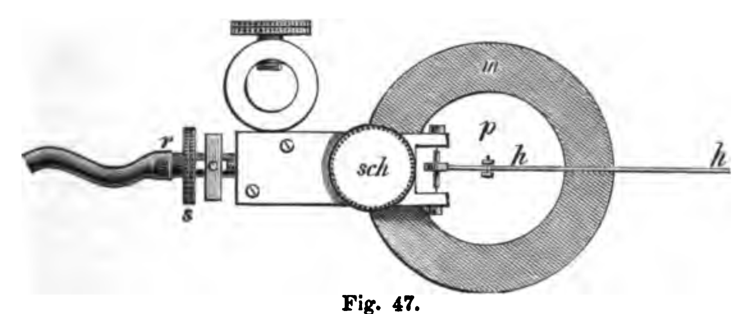


Fig. 47.
Marey'sche Schreibkapsel (ältere Form), von oben gesehen. (2/3 nat. Gr.)

Die Fig. 47 bringt ein älteres Modell der Marey'schen Schreibkapsel, das sich uns bei langjährigem Gebrauch ebenso bewährt hat, wie das neuere, in der Ansicht von oben. Die in Spitzen gehende Axe des Hebels ist hier deutlich zu erkennen. Die Schraube *s* regulirt auch hier den Angriffspunkt der Membran am Schreibhebel. Das zur Verbindung des Kapselinnern mit dem Kautschukschlauch dienende Rohr *r* geht hier zweckmässiger Weise nicht seitlich ab, sondern verläuft in der Verlängerung des Hebels. Der letztere kann durch Drehen der mit *sch* bezeichneten Schraube gehoben und gesenkt werden. [1])

Die Handhabung eines aus zwei Kapseln, einer schreibenden und einer aufnehmenden, gebildeten Systems wird durch Fig. 48 erläutert.

[1]) Verdin liefert neuerdings Schreibkapseln von etwas abweichender Gestalt. Die an ihnen angebrachten Veränderungen zielen darauf ab, die Erneuerung des Membranüberzuges zu erleichtern. Da mir ausgedehntere Erfahrungen mit denselben nicht zu Gebote stehen, vermag ich nicht zu sagen, ob diese neuen Modelle sich bewähren.

Die hier einfach mit einer Kautschukmembran überspannte Aufnahmekapsel k^1 steht durch den Schlauch *s* in Verbindung mit der auf einem Stativ angebrachten Schreibkapsel k^2, deren Zeichenhebel gegen die Fläche eines geschwärzten Cylinders *cy* lehnt. Drückt man auf die Membran von k^1, so geht der Schreibhebel der Kapsel k^2 in die Höhe, und zwar um so mehr, je stärker der auf k^1 geübte Druck ist.

Die Aufnahmekapsel kann, je nach den Zwecken, denen sie dienen soll, eine verschiedene Gestalt haben. Meistens trägt auch ihre Membran eine Aluminiumplatte; auf dieser ist dann in gewissen Fällen ein abgerundeter Knopf angebracht, der auf die zu explorirende Gegend des Körpers, z. B. auf die Stelle des Herzstosses, auf irgend eine andere Stelle der Thoraxwand, oder auch auf eine Arterie, einen Muskel aufgesetzt wird. Selbst verhältnismässig schwache Bewegungen übertragen sich dann auf die Schreibkapsel in deutlichster Weise.

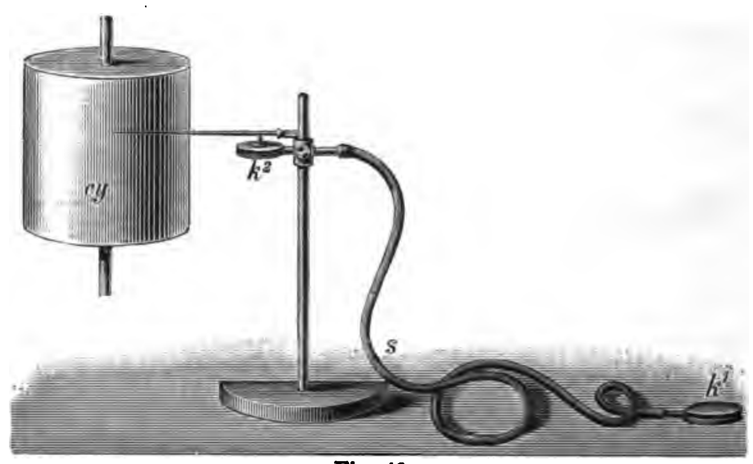


Fig. 48.
Princip der Luftübertragung.

In anderen Fällen wird auf der Aufnahmekapsel wieder ein Hebel angebracht; dies geschieht z. B. zu gewissen myographischen Zwecken. Der Hebel ist hier stärker, als der Schreibhebel; an ihm hat der Muskel zu ziehen.

Die Elasticität der Membran der Aufnahmekapsel kann man durch eine unter der Membran im Kapselraum angebrachte Spiralfeder unterstützen.

Was die Membran der Zeichenkapsel anlangt, so besteht sie, wie gesagt, gewöhnlich aus Kautschuk. Man verwendet dazu die besten und homogensten Kautschukplatten, die man erhalten kann; die den Pariser Originalapparaten beigegebenen Membranen sind von

unvergleichlicher Güte. Muss die Membran erneuert werden, so bindet man die neue mit dünnem Bindfaden oder mit Draht fest, achtet darauf, dass ihre Spannung eine nur geringe sei und klebt das Aluminiumplättchen auf ihr mit Canadabalsam an. Für die gewöhnlichen Zwecke wählt man Membranen von mässiger, 0·3 bis 0·4 *mm* betragender Dicke; in einzelnen Fällen muss man, um die Empfindlichkeit zu erhöhen, sehr dünne Membranen anwenden; die äusserst zarten sogenannten Condommembranen, Goldschlägerhäutchen u. a. m. können dann von Nutzen sein. Wünscht man die Elasticität der Membran zu erhöhen, so kann man über die Kapsel einen Gummiring streifen, der je nach seiner Weite und Dicke einen mehr oder minder mässigenden Einfluss auf die Excursionen der Membran ausübt.

Der Zeichenhebel der Schreibkapsel soll sich um seine Axe mit äusserst geringer Reibung bewegen, und er soll sehr leicht sein. Für seine Herstellung gilt alles das, was oben über die Schreibhebel im Allgemeinen gesagt worden ist. Am besten benutzt man auch hier als Hebel einen 10—15 *cm* langen Schilfstreifen, den man mit einer Spitze aus Aluminiumblech versieht. Da grössere Belastungen des Hebels durchaus vermieden werden müssen, wenn man die Treue der Aufzeichnung nicht durch Trägheitsschwankungen in hohem Grade gefährden will, so wird man mit solchen Kapseln nur auf berusstes Papier oder Glas schreiben können, auf die Anwendung von Farbschreibern aber verzichten müssen.

Man stellt den Schreibhebel am besten tangential zur Cylinderfläche; will man Stirnschreibung verwenden, so muss man natürlich den Hebel mit einer möglichst leicht gearbeiteten Geradführung versehen.

Dem Leitungsschlauch, welcher die Schreibkapsel und die Aufnahmekapsel zu verbinden hat, kann man eine beliebige Länge geben; Schläuche von 50 bis 100 *cm* Länge dürften am häufigsten Verwendung finden. Das Lumen des Schlauches sei nicht zu eng (etwa 3 bis 5 *mm*), seine Wand dick (mindestens 1—1·5 *mm*). Man achte darauf, dass die Schlauchenden fest auf den entsprechenden Abzugsröhren der Kapseln aufsitzen; im Nothfall befestige man sie durch eine Ligatur. Nie soll der Schlauch sich an diesen Stellen nach innen umkrempeln; unterlässt man es, dafür zu sorgen, so wird das System undicht.

Sehr oft bedient man sich zur Aufzeichnung gewisser Bewegungen einer Schreibkapsel, die nicht mit einer Aufnahmekapsel, sondern mit irgend einer anderen Vorrichtung verbunden ist. So kann man die Schwankungen einer Manometersäule graphisch darstellen, indem man

das Manometerrohr durch einen Schlauch mit einer Zeichenkapsel verbindet; den inspiratorisch und exspiratorisch bewegten Luftstrom kann man direct auf eine solche wirken lassen und so eine Aufzeichnung der Athembewegungen gewinnen. Zuweilen versieht man das Ende des zur Schreibkapsel führenden Schlauches mit einem durch Luft oder Wasser geblähten elastischen Beutel, der, in das Innere von Hohlorganen (Darm, Uterus) eingeführt, die Zusammenziehungen derselben auf den schreibenden Hebel überträgt. Die Marey'sche Schreibkapsel ist, wie man schon aus diesen wenigen Anführungen erkennt, von so vielseitiger Anwendbarkeit, dass Manche sie geradezu als Pantograph bezeichnet wissen wollen.

Im Laufe der Zeit hat Marey's tambour inscripteur theils, wie schon oben angeführt wurde, durch seinen Erfinder selbst, theils aber auch durch Andere mancherlei Veränderungen erfahren. Nicht alle der vorgeschlagenen Modificationen sind indessen Verbesserungen zu nennen.

Eine zur feinen Einstellung der Schreibspitze dienende Hilfsvorrichtung, die Knoll und Grunmach empfohlen haben, und die, besonders wenn man mehrere Schreibkapseln gleichzeitig benutzen will, entschieden empfehlenswerth ist, soll später erwähnt werden.

Sehr zweckmässig dürfte auch eine Einrichtung sein, die der Mechaniker Petzold in Leipzig getroffen hat, um die auf einem verticalen Stativ angebrachte Kapsel zur Schreibung sowohl am senkrecht als am horizontal stehenden Cylinder geeignet zu machen.

Dagegen möchte ich glauben, dass die Aequilibrirung des Schreibhebels durch ein Gegengewicht, wie sie sich an der Grunmach'schen Kapsel findet, einen nicht unbedenklichen Fehler einführt. Die Empfindlichkeit einer solchen Kapsel wird sehr gross sein, aber dafür ist die in Bewegung zu setzende Masse vermehrt, während doch alles darauf ankommt, sie so gering wie möglich zu machen.

Kritik des Luftübertragungverfahrens.

Über die Leistungsfähigkeit des Verfahrens der Luftübertragung kann man sich leicht auf experimentellem Wege ein Urtheil verschaffen. Dass eine gute Schreibkapsel die Zahl und die Form der auf sie vermittelst einer Aufnahmekapsel übertragenen Bewegungen mit grosser Treue wieder gibt, geht schon aus einem einfachen Versuch hervor. Marey liess die Schwingungen von Stimmgabeln auf eine Aufnahmekapsel wirken, die mit einer Schreibkapsel in Verbindung stand. Die letztere zeichnete noch bei 250 ganzen Schwingungen der benutzten Stimmgabel die Zahl derselben richtig auf, und gab auch deren sinusoide Gestalt treu wieder.

Donders hat die Angaben solcher Luftübertragungssysteme einer sehr sorgfältigen Experimentalkritik unterzogen. Auf die Aufnahmekapsel liess er den wechselnden Druck einer um eine Axe rotirenden, an ihrer Peripherie mit Vorragungen und Einbuchtungen versehenen excentrischen Scheibe wirken, die mit beliebiger Geschwindigkeit gedreht werden konnte. Die Aufnahmekapsel war selbst mit einer einfachen Schreibvorrichtung versehen und stand ausserdem mit einer Schreibkapsel durch einen Schlauch in Verbindung. (Man findet die Vorrichtung abgebildet bei Marey Du mouvement dans les fonctions de la vie. 1868. p. 201. Fig. 57.) Die primäre und die secundäre Curve wurden übereinander auf den bewegten Cylinder gezeichnet; man konnte so genau controlliren, ob und in wie weit die letztere den mannigfachen Wendungen der ersteren folgte. Es zeigte sich, dass die Wiedergabe bei langsamer Drehung eine absolut treue ist, dass aber bei zunehmender Geschwindigkeit kleine Differenzen auftreten, die auf die Trägheit des secundären Schreibhebels zu beziehen sind.

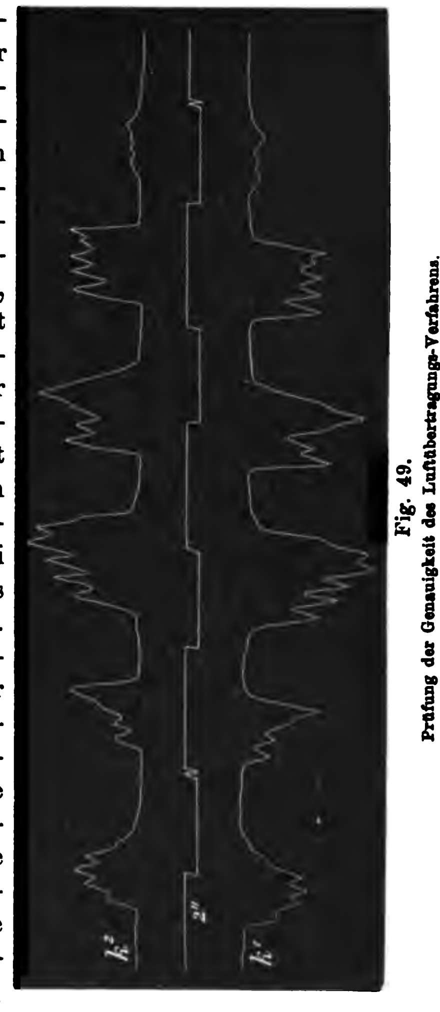


Fig. 49. Prüfung der Genauigkeit des Luftübertragungs-Verfahrens.

Ich habe zu ähnlichen Zwecken folgendes Verfahren eingeschlagen. Zwei gleiche Marey'sche Schreibkapseln sind neben der rotirenden Trommel übereinander aufgestellt (k^1 unten, k^2 darüber); sie sind durch einen 85 *cm* langen dickwandigen Gummischlauch mit einander verbunden. Um den ersten (unteren) Hebel schlingt man einen Faden, der senkrecht herunter hängt. Übt man an diesem einen beliebigen Zug, so schlagen die Zeichenhebel beider Kapseln aus, der der unteren nach unten, der obere nach oben. Vergleicht man nun die beiden so übereinander gemachten Aufzeichnungen miteinander, so erkennt man, dass

selbst noch bei ziemlich rapiden Bewegungen die Übereinstimmung der Curven eine ungemein genaue ist.

Fig. 49 gibt eine solche Aufzeichnung wieder; k^1 ist die Curve der Zeichenkapsel, k^2 die der Aufnahmekapsel; zwischen ihnen ist, um ein Urtheil über die Bewegungsgeschwindigkeit zu ermöglichen, die Zeit verzeichnet (Doppelsecunden). Will man die Curven mit einander vergleichen, so kann man dies am besten in der Weise thun, dass man zwischen ihnen, senkrecht oder etwas geneigt, eine spiegelnde unbelegte Glasplatte aufstellt. Durch sie hindurch sieht man dann die obere Curve direct, die zweite erscheint im Spiegelbilde aufgerichtet unter und, da die Schreibhebel in ihren Anfangsstellungen nicht genau übereinanderstanden, neben der ersten Curve. Man ersieht aus der Aufzeichnung, mit welcher Treue selbst die kleinsten Inflexionen der primären Curve in der secundären wieder zum Vorschein kommen.

Ein Umstand, der bei der Benutzung der Luftübertragung Beachtung verdient, ist der Zeitverlust, der mit ihr verbunden ist. Eine Zeichenkapsel schlägt niemals in demselben Momente aus, in welchem der sie anregende Druck oder Stoss die Aufnahmekapsel trifft, sondern sie verspätet um so viel, als die hervorgerufene Luftbewegung braucht, um sich durch die Schlauchlänge fortzupflanzen. Nach Marey ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer solchen Bewegung von derselben Ordnung wie die des Schalles, der sie sich um so mehr nähert, je weiter der benutzte Schlauch ist. Für Schläuche von 4 *mm* lichter Weite findet Marey 280 *m* per Sec. Wäre also der zur Übertragung verwendete Schlauch einen Meter lang, so würde die Zeit der Fortleitung etwa 0·0035 Sec. betragen.



Fig. 50. Messung des Zeitverlustes bei der Luftübertragung.

Um die Übertragungszeit festzustellen, verfährt man ähnlich, wie bei der Prüfung der Übertragungstreue; indem man den horizontalen Abstand der Fusspunkte zweier einander zugeordneter, bei grosser Trommelgeschwindigkeit gemachter Aufzeichnungen ermittelt, erhält man ein Maass für die zeitliche Differenz beider. (S. Fig. 50).

Bei einer vor mehreren Jahren unternommenen Ausführung solcher Messungen ist mir aufgefallen, dass an denselben Kapseln und bei Benutzung desselben Schlauches in den Einzelversuchen von einander etwas abweichende Werthe für die Fortleitungsgeschwindigkeit gefunden werden können. Mir schien hier die Schnelligkeit des gegebenen Impulses von Einfluss zu sein, dergestalt, dass bei

steilerem Verlauf des Curvenanstieges die Verzögerung geringer war, als bei sanfter Erhebung. Doch bedarf dieser Gegenstand noch genauerer Prüfung.

Hat man simultane Aufzeichnungen zu machen, deren zeitlicher Unterschied in Frage kommt, so darf, falls dabei Luftübertragungsvorrichtungen benutzt werden, die besprochene Leitungszeit nicht vernachlässigt werden. Sie eliminirt sich freilich von selbst für den Fall, dass sämmtliche darzustellende Bewegungen mit Hilfe Marey'scher Kapseln aufgeschrieben werden, deren Zuleitungsschläuchen die gleiche Länge gegeben ist.

Der Piston-recorder.

In den meisten Fällen, in denen bei graphischen Darstellungen das Princip der Luftübertragung angewendet wird, bewährt sich die Marey'sche Kapsel durchaus. Dennoch hat auch ihre Leistungsfähigkeit ihre Grenzen. Will man beispielsweise sehr langsam ablaufende Bewegungen auf die Kapsel übertragen, so ergibt sich insofern eine Schwierigkeit, als es kaum gelingt, die für solche Versuche wünschenswerthe absolute Luftdichtigkeit bei genügender Empfindlichkeit der Membran zu erzielen. Ebenso versagt die Kapsel, wenn es gilt, zu gleicher Zeit grosse und diesen aufgesetzte kleine Schwankungen in ihrem wirklichen Grössenverhältnis wiederzugeben. Die durch die starken Impulse stark geblähte Membran hat naturgemäss an Empfindlichkeit für die kleinen eingebüsst.

In solchen Fällen kann der Marey'sche Schreibapparat zweckmässiger Weise ersetzt 'werden durch ein neuerdings von Ellis in Boston empfohlenes, von ihm und anderen Forschern schon mehrfach mit Erfolg angewandtes Instrument, den „Piston recorder for air connections.“ Der Piston-recorder ist nach Art einer Spritze gebaut. Er besteht aus einem Glasrohr, in welchem sich ein mit Schreibwerk versehener Kolben ohne Widerstand, aber luftdicht anschliessend bewegt. Wird in den unterhalb des Kolbens befindlichen Luftraum mehr Luft hineingedrängt, so schiebt sich der Kolben weiter vor, während die Abnahme des Luftvolumens einen Rückgang desselben zur Folge hat. Die Grösse der Kolbenverschiebung ist dem eingetretenen Luftquantum entsprechend.

Der ursprüngliche Piston-recorder von Ellis ist ein sehr einfacher Apparat, den man sich selbst ohne grosse Schwierigkeit herstellen kann. Der Kolben besteht hier aus Paraffin; der luftdichte Schluss wird durch einige Tropfen eines ätherischen Oeles, Pfeffermünz- oder Nelkenöl, bewirkt. Mit dem Kolben ist ein Glasfaden verbunden, der andererseits

mit einem äquilibrirten Schreibhebel in Verbindung steht. Tigerstedt und v. Frey, haben dem Apparat eine vollkommenere Gestalt gegeben.

Fig. 51 stellt einen Piston-Zeichner in einer von der von Tigerstedt angenommenen nur wenig abweichenden Form dar. *r* ist ein sorgfältig cylindrisch ausgeschliffenes Glasrohr von 4 *cm* Höhe und 1 *cm* lichter Weite. Dasselbe trägt unten eine metallene Schlussplatte, die von einem Glasröhrchen durchsetzt wird. In dem Rohre geht ein wohl geölter Kolben k, der einen nur um ein weniges geringeren Durchmesser hat, als das Rohr. Er besteht aus Hartgummi und ist völlig hohl. Seine obere Fläche trägt mittelst eines kleinen Gelenkes einen dünnen Alu-

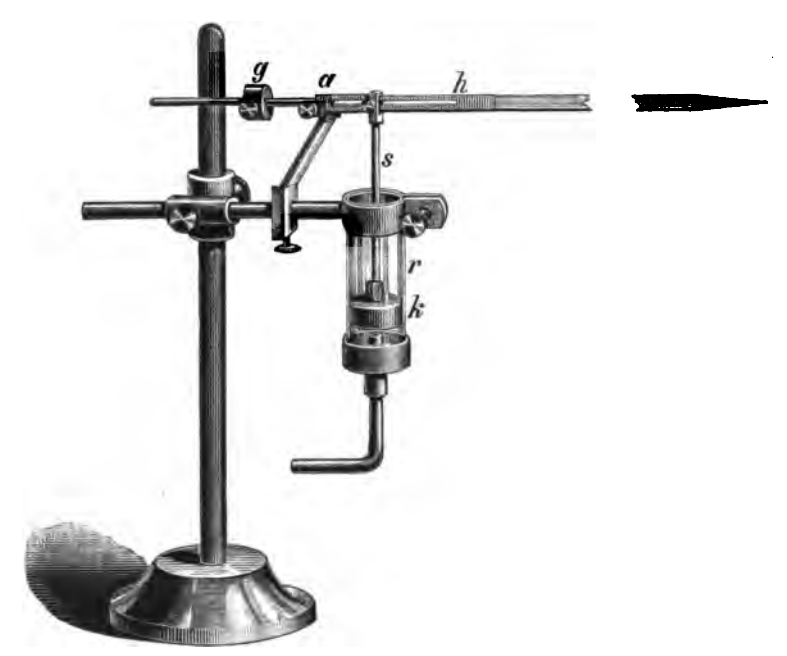


Fig. 51.
Piston-recorder. (2/3 nat. Gr.)

miniumstab *s*, dessen oberes Ende wieder durch Gelenkverbindung an einem Schreibhebel *h*, nach Belieben näher oder entfernter der Axe *a*, angreift. Die Axe des Schreibhebels geht mit minimaler Reibung in Spitzen. Das Laufgewicht *g* äquilibrirt den Schreibhebel; es lässt sich zu diesem Zwecke der Axe mehr oder weniger nähern. Die übrigen Theile der Abbildung sind ohne weitere Erklärung verständlich.

Bringt man das von dem Glascylinder ausgehende Röhrchen durch einen Gummischlauch in Verbindung mit einer Marey'schen Aufnahmekapsel, und ertheilt man dieser Druckimpulse, so übertragen sich

dieselben auf den Kolben, und der mit diesem verbundene Hebel schreibt sie in vergrössertem Maassstab auf.

Sehr vortheilhaft ist die Anwendung dieser kleinen Vorrichtung zum Zwecke der Volumschreibung. Fügt man z. B. einen Finger, oder fügt man den Hinterschenkel eines lebenden Frosches luftdicht in ein Glasrohr ein, welches mit dem Piston-recorder in Verbindung steht, so kann man alle jene Volumschwankungen des betreffenden Organs, die mit den Herzschlägen und mit anderen periodischen oder zufälligen Zuständen des Gefässsystems einhergehen, in vortrefflicher Weise zur graphischen Darstellung bringen. Ja sie können, was bei der Marey'schen Kapsel kaum möglich wäre, sogar ihrer Grösse nach bestimmt werden, da bei luftdichtem Schluss und leichter Beweglichkeit des Kölbchens die Ausschläge des Instrumentes den Volumänderungen proportional sind. Nur muss dabei der Apparat vor plötzlichen Temperaturänderungen, die natürlich von bedeutendem Einfluss auf den Stand des Kolbens sein könnten, behütet werden.

Eine genauere Experimentalkritik des Piston-recorders steht noch aus; doch ist nicht zu bezweifeln, dass derselbe sich bald als ein werthvoller Bestandtheil des physiologischen Apparatenschatzes eingebürgert haben wird, der zwar nicht dazu bestimmt sein kann, die bequeme und empfindliche Marey'sche Schreibkapsel zu verdrängen, der sie aber in willkommener Weise ergänzen wird. [1])

III. Das registrirende Manometer.

James Watt soll der erste gewesen sein, der ein druckanzeigendes Quecksilber-Manometer dadurch zu einem registrirenden Apparat machte, dass er auf dem Quecksilber einen Stab schwimmen liess, der die Bewegungen desselben mitmachen und aufschreiben konnte. Ludwig hat durch die Einführung des registrirenden Manometers in die Physiologie dieselbe mit einem der werthvollsten Forschungsmittel beschenkt. Dass mit ihm überhaupt die Registrirmethode in die Physiologie Eingang gefunden hat, wurde schon früher hervorgehoben.

Hier soll das schreibende Quecksilber-Manometer nur im Allgemeinen behandelt werden als eine Vorrichtung, vermittelst deren der wechselnde Druck einer Luftmasse oder einer Flüssigkeit zur graphischen Dar stellung gelangen kann. Die häufigste Anwendung findet das Queck

---

[1]) Schäfer, welcher schon vor Ellis einen Piston-recorder benutzte, füllte das horizontal liegende Rohr seines Instrumentes mit Öl. Für manche Untersuchungen scheint auch diese Anordnung sehr brauchbar zu sein.

silbermanometer bei der Untersuchung des Blutdruckes. Die nähere Einrichtung der zu diesem Zwecke eingerichteten Instrumente soll später, im speciellen Theile, auseinander gesetzt werden; für denselben Ort sei auch eine genauere kritische Besprechung derselben verspart.

Das registrirende Manometer besteht in der Regel aus einer U-förmigen Glasröhre, die bis zu einer gewissen Höhe mit Quecksilber gefüllt ist. Den einen Schenkel des Rohres (*a*) biegt man oben in horizontaler Richtung um und versieht ihn auch wohl mit einem Hahn; er wird mit der Druckquelle (z. B. mit den Inneren einer Arterie, mit dem Lumen eines Drüsenausführungsganges, mit der Luftröhre u. s. w.) in Verbindung gesetzt; der andere, freie Schenkel *b* erhält einen Schwimmer *s s*, d. h. ein Stäbchen, welches, mit seinem unteren Ende auf der Quecksilberoberfläche ruhend, an seinem oberen eine Schreibspitze trägt.

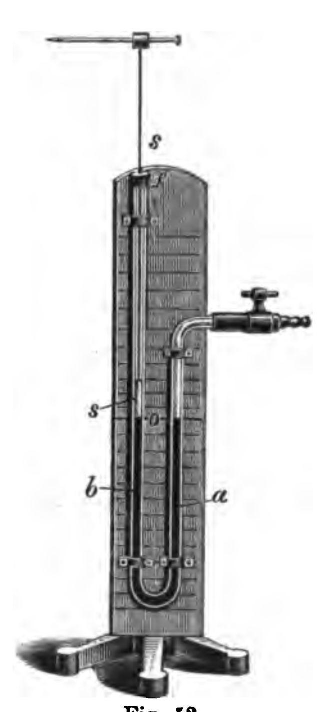


Fig. 52.
Registrirendes Quecksilbermanometer. (⅓ nat. Gr.)

Die Manometerröhre kann man auf einer verticalen, mit einem schweren Fuss versehenen Holztafel befestigen, die man mit einer Millimetertheilung versehen hat. Diese Theilung hat am besten ihren Nullpunkt gegenüber der Stelle, die dem Stand des Quecksilbers bei Nulldruck entspricht. (S. Fig. 52.) Lässt man nun einen Druck auf das Manometer wirken, so sinkt das Quecksilber in dem Schenkel *a* und steigt in demselben Maasse in dem freien Schenkel *b*. Die Niveaudifferenz in den beiden Schenkeln ist dann das Maass des ausgeübten Druckes; derselbe findet sich hier also ausgedrückt durch die Höhe einer Quecksilbersäule, die ihm das Gleichgewicht hält. Der Schwimmer macht die Bewegungen der freien Quecksilbersäule mit. Lässt ihn mit seiner Schreibspitze auf einen bewegten Cylinder zeichnen, so erhält man die graphische Darstellung des untersuchten Druckes. Dabei ist zu beachten, dass die Erhebungen der gezeichneten Druckcurve über die Ruhelinie nur die halbe Druckhöhe anzeigen, also mit zwei zu multipliciren sind, wenn man die Druckgrösse in *mm Hg.* ausdrücken will, da ja der Schwimmer nur angibt, um wie viel das Quecksilber in *b* gestiegen, nicht aber um wie viel es zugleich in *a* gefallen ist.

Was die Beschaffenheit des zu benutzenden Schwimmers anlangt, so werden im speciellen Theile darüber nähere Angaben gemacht werden (s. bes. den von der Aufschreibung des Blutdruckes handelnden Abschnitt). Hier sei nur bemerkt, dass derselbe geeignet sein muss, den Bewegungen der Quecksilbersäule genau zu folgen, und dass er durch eine passende Führung an der Ausführung seitlicher Schwankungen zu verhindern ist. Die am oberen Ende des Schwimmers anzubringende Schreibvorrichtung soll ebenfalls später besprochen werden. Zeichnet man auf berusstes Papier, so genügt oft ein Strohhalm, oder eine Stecknadel, die man in querer Richtung am Schwimmerstäbchen befestigt. Durch Anbringung eines vertical herabhängenden Fadens hat man dafür zu sorgen, dass die Schreibspitze dem Cylinder stets anliegt.

Bei Drucken geringer Grösse zieht man dem Quecksilbermanometer nicht selten ein mit Wasser gefülltes vor. Entsprechend der Differenz im specifischen Gewicht der beiden Flüssigkeiten schlägt die Wassersäule bei gleichem Druck fast 14 mal höher aus, als die Quecksilbersäule.[1]) Schwankungen, die wegen ihrer Kleinheit vom Quecksilbermanometer gar nicht oder kaum angedeutet werden würden, liefern am Wassermanometer deshalb noch ansehnliche Niveauunterschiede. Auf die Construction der Schwimmer muss bei dieser Vorrichtung besondere Sorgfalt verwendet werden. Am zweckmässigsten ist ein hohler, oben quer abgebogener Glasfaden, der mittelst eines kleinen Cylinders aus Kork oder Paraffin oder Hartgummi auf dem Waser ruht. Solchen Cylinderchen gibt man einen Durchmesser, der nur wenig hinter dem der Glasröhre zurückbleibt; den Kork kocht man am besten, um ihn unbenetzbar zu machen, in Paraffin, den Paraffincylinder stanzt man mittelst eines scharfen Korkbohrers aus einem Paraffinblock aus, der Hartgummicylinder sei hohl.

Das Quecksilbermanometer kann aber auch bei geringen Druckgrössen mit Vortheil benutzt werden und die Anwendung eines Wassermanometers überflüssig machen, wenn man dafür sorgt, dass die Ausschläge des Schwimmers auf der bewegten Fläche sich in vergrössertem Maassstabe aufzeichnen. Man kann zu diesem Zwecke die sehr empfehlenswerthe Einrichtung benutzen, die in Fig. 53 dargestellt ist. Das obere Ende des Schwimmers greift hier an einem in seiner Axe mit gelindester Reibung beweglichen Schreibhebel an, durch den man eine sehr beträchtliche Vergrösserung der Ausschläge erhalten kann.

---

[1]) 10 *mm* Hg. = 136 *mm* Aq ; 10 *mm* Aq. = 0·74 *mm* Hg.

Recht zweckmässig kann es zuweilen sein, bei Benutzung des Quecksilber- und noch mehr des Wassermanometers den schreibenden Schwimmer durch eine andere Schreibvorrichtung zu ersetzen. Wollte man beispielsweise die Druckschwankungen auf einen horizontal liegenden Cylinder aufzeichnen, so wäre der Schwimmer nicht zu brauchen. Hier verbindet man nach dem Vorschlag von Marey das obere Ende des freien Manometerschenkels vermittelst eines dickwandigen Schlauches mit einer Marey'schen Schreibkapsel. Die Schwankungen der Quecksilbersäule übertragen sich dann, falls sie nicht zu gross werden, sehr gut auf den Zeichenhebel; natürlich werden dessen Ausschläge um so grösser sein, je weiter die Manometerröhre ist. Noch vortheilhafter ist es, zu diesem Zwecke einen Piston-recorder zu verwenden, weil die Ausschläge desselben den Erhebungen der Quecksilbersäule proportional sind.



Fig. 53.
Registrirendes Manometer mit Hebelvergrösserung.

Überall, wo man ein Quecksilber-Manometer zur Aufzeichnung von Druckschwankungen benutzt, muss man der Mängel eingedenk sein, mit denen dieser Apparat nothwendiger Weise behaftet ist.

Die Grösse der hier in Bewegung zu setzenden Masse bewirkt, dass die Quecksilbersäule schwachen Antrieben nicht leicht folgt, dass sie bei plötzlichen kräftigen Impulsen zuweilen weit über die richtige Höhe hinausschlägt, und dass sie die Neigung hat, nach einzelnen Anstössen selbständige, pendelartig um die Ruhelage sich bewegende Oscillationen zu machen. In einem späteren Abschnitt sollen diese Mängel einer genaueren Besprechung unterzogen werden. Es wird dann gezeigt werden, dass das schreibende Quecksilbermanometer sich sehr wohl zur Darstellung langsamerer Druckänderungen und zur Bestimmung mittlerer Druckhöhen eignet, dass es dagegen nicht benutzt werden kann, wenn man ein treues Bild von der Form und der Grösse rascher Schwankungen gewinnen will. Im letztern Fall leisten elastische Schreibmanometer allein das

Gewünschte. Die Construction und die Leistung dieser Vorrichtungen soll ebenfalls erst später behandelt werden. (Vgl. Spec. Theil. Abschnitt III, Capitel II und III).

Viertes Capitel.

Aufstellung der Zeichenhebel und anderer Schreibapparate. Einstellung der Schreibspitze.

I. Stative und Stellvorrichtungen.

Zur Aufstellung der Schreibhebel oder der mit ihnen ausgerüsteten Instrumente, wie zum Beispiel der Marey'schen Kapseln, bedient man sich besonderer Stative, die man neben oder am Registrirapparat anbringt. Die Schreibapparate sollen mit Ringen oder Hülsen versehen sein, vermittelst deren man sie auf den Stativen befestigt. Mit schweren Füssen versehene polirte Messingsäulen von 20 bis 30 *cm* Höhe und etwa 10 *mm* Dicke dienen am häufigsten als Träger. Es ist gut, wenn alle im Laboratorium gebrauchten Säulen dieselbe Dicke besitzen, und wenn alle Schreibapparate so eingerichtet sind, dass sie auf alle Stative passen. Um die Träger dem Registrircylinder u. s. w. beliebig nahe bringen zu können, gibt man ihren Füssen passende Formen. Dreifüsse oder halbkreisförmig begrenzte Fussplatten, an deren gerader Seite die Stange angebracht ist, dürften am passendsten sein. Vor allem sei der Fuss recht schwer, damit die Aufstellung eine möglichst sichere sei.

Derselbe Schreibapparat muss nicht selten bald am verticalen, bald am horizontalen Cylinder wirken. Zu diesem Zwecke kann man an ihm von vornherein eine Doppelhülse anbringen lassen, der die eine wie die andere Einstellung auf einer verticalen Stativstange erlaubt.

Besitzt der Apparat diese Einrichtung nicht, ist er, auf einer senkrechten Stange angebracht, nur für verticale Zeichnung eingestellt, so kann man, falls man ihn auf die liegende Trommel schreiben lassen will, auf die Stativsäule eine Querstange setzen, die zur Aufnahme der Hülse der Schreibvorrichtung dient.

Von diesen verschiedenen Einrichtungen geben die schon mitgetheilten und die später folgenden Abbildungen zahlreiche Beispiele.

Viele Schreibapparate, besonders auch die Marey'schen Kapseln, bringt man anstatt auf besonderen neben dem bewegten Cylinder aufgestellten Trägern weit besser am Registrirapparat selbst an. Fig. 54 möge erläutern, in welcher Weise dies geschehen kann. Die metallene Grundplatte des Baltzar'schen Trommelapparates besitzt eine Bohrung, in welche eine mit einer Handhabe versehene Schraube *s* passt. Vermittelst dieser Schraube lässt sich ein gabelartig tief geschlitzter solider eiserner Streifen *g* feststellen, der an seinem Ende die zur Aufnahme der Schreibvorrichtungen bestimmte Stange *st* trägt. Durch passende Einstellung der Gabel erreicht man leicht den für die richtige Anlegung der Zeichenspitzen nothwendigen Stand der Säule.

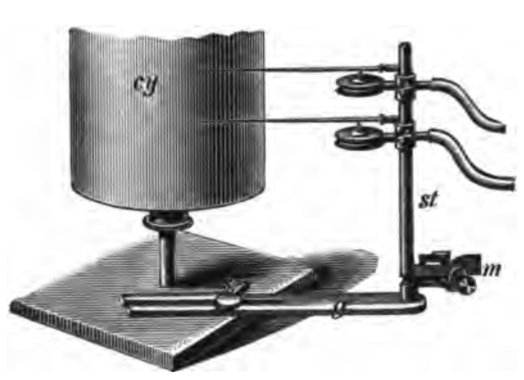


Fig. 54.
Anbringung von Schreibapparaten am Cylinder.

Natürlich liessen sich viele andere Einrichtungen ersinnen, die denselben Dienst leisten würden.

Die grobe Verstellung der Schreibhebel gegen die Trommel ist leicht mit der Hand auszuführen; man kann auch Zahntriebe, die man am Stativ anbringt, zu Hilfe nehmen. Zur feinen Einstellung der Zeichenspitze bedient man sich am besten einer mikrometrischen Vorrichtung. Stattet man den zur Aufnahme der Schreibapparate dienenden Träger mit einer solchen aus, so erleichtert man sich dadurch nicht nur die Ausführung feiner Zeichnungen in hohem Maasse, sondern wird auch in den Stand gesetzt, die Zeichenspitze in jedem beliebigen Moment von der Schreibfläche schnell abheben oder ihr wieder anlegen zu können.

Eine vortreffliche Stellvorrichtung dieser Art hat Marey angegeben. In Fig. 54 ist die verticale Trägerstange mit ihr versehen (m). Fig. 55 zeigt, wie sie an einem horizontalen Stativarm anzubringen ist (m). Auch auf Fig. 58 mag hier verwiesen sein.

Die beistehende Abbildung Fig. 56 endlich möge zur näheren Erläuterung dieses kleinen, aber wichtigen Hilfsapparates dienen.

Die (hier horizontal zu orientirende) Trägerstange *s s* wird ihrer ganzen Länge nach von einer Hülse *h* mantelartig umschlossen (in der Abbildung ist die Hülse theilweise weggenommen, so dass die Stange *s s* freiliegt). Dieselbe ist um ihre Längsaxe drehbar; sie wird gedreht, wenn man die Schraube *sch* auf einen kurzen queren Fortsatz wirken lässt, der vom unteren Ende der Hülse ausgeht, und den eine gebogene Gegenfeder *f* gegen die Schraube andrückt. Ist auf *h* eine Schreibvorrichtung, z. B. eine Marey'sche Zeichenkapsel, aufgeschoben, so wird diese und damit deren Schreibspitze, die man sich an eine berusste Trommel angelehnt denke, je nach dem Sinne der Drehung der Schreibfläche genähert oder von ihr entfernt. Auf diese Weise lässt sich der Contact der schreibenden Spitze mit dem Papier des Cylinders in der feinsten und leichtesten Weise reguliren.

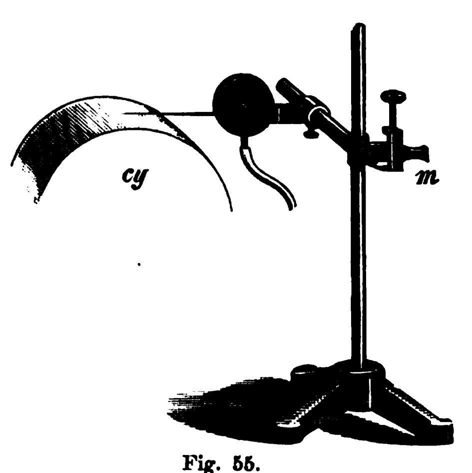


Fig. 55.
Horizontal schreibende Kapsel mit Stativ und mikrometrischer Stellvorrichtung.

Leider genügt diese Einrichtung nicht für alle Fälle. Sind nämlich zugleich mehrere Schreibapparate, z. B. mehrere Luftkapseln, neben der bewegten Trommel anzubringen, so ist es nicht selten wünschenswerth, für jeden derselben die Reibung für sich reguliren zu können. Man hat deshalb mikrometrische Stellvorrichtungen vielfach an den Kapseln selbst angebracht. Das ist z. B. bei den zu den Polygraphen von Knoll und von Grunmach gehörigen Schreibkapseln der Fall. Wie hier die Einrichtung zu treffen ist, erläutert Fig. 57.



Fig. 56.
Marey's Vorrichtung zur feineren Einstellung von Schreibkapseln (1/2 nat. Gr.)

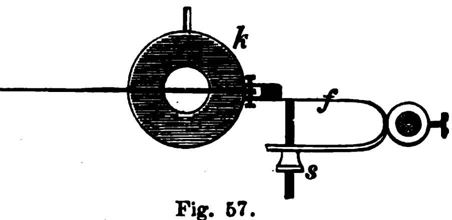


Fig. 57.
Schreibkapsel mit Stellvorrichtung.

Die Kapsel *k* ist mit einem gebogenen federnden Stahlstreifen *f* verbunden, der an den zur Befestigung am Träger dienenden Ring angelöthet ist. Drehungen an der Schraubenmutter *s* müssen offenbar die Kapsel in der Ebene der Zeichnung verschieben, und damit die Schreibspitze dem Cylinder nähern oder von ihm abheben.

Ähnliche Einrichtungen lassen sich natürlich auch an anderen Schreibapparaten anbringen. Wir werden späterhin weitere demselben Zwecke dienende Stellvorrichtungen kennen lernen.

Hier mögen zum Schlusse noch zwei Stativconstructionen erwähnt sein, die, wenn man schon einmal davon absieht, den Träger



Fig. 58.
Universal-Stativ.

am Registrirapparat selbst anzubringen, sich zur Aufstellung und Einstellung von Schreibapparaten sehr gut eignen.

Die eine Vorrichtung ist das von Miescher angegebene „Basler Stativ," das der Mechaniker Runne in Basel verfertigt. Durch Charniergelenk und Mikrometerschraube lässt sich hier die zur Aufnahme der Schreibvorrichtungen bestimmte Stange grob und fein gegen die Schreibfläche verstellen. Auch in verticaler Richtung ist sie leicht

und sicher verschiebbar. Ein eisernes Tragstück mit schwerer Fussplatte sichert die Stabilität.

Mir selbst hat sich eine Vorrichtung bewährt, die in Fig. 58 wiedergegeben ist.

Auf einem schweren eisernen Fuss ist eine dreiseitig prismatische Säule p^1 befestigt, die mit einer Zahnstange versehen ist, in welche ein durch die Schraube s^1 drehbares Zahnrad eingreift. Die Drehung von s^1 bewegt ein Holztischchen *t* auf- oder abwärts. Durch eine zweite Zahn- und Triebvorrichtung s^2 kann der Tisch auch in horizontaler Richtung verschoben werden. Auf dem Tischchen bringt man eine Messingsäule an, die zur Aufnahme des Schreibapparates, z. B. wie in der Abbildung einer Marey'schen Kapsel (*k*) dient. Die schon oben beschriebene mikrometrische Vorrichtung *m*, die mit dieser Säule verbunden ist, erlaubt die feinere Einstellung der Schreibspitze gegen die bewegte Fläche. Das Stativ macht somit grobe und feine Verstellungen des Schreibhebels in den verschiedenen in Betracht kommenden Richtungen möglich, und lässt sich mit gleichem Vortheil am senkrecht stehenden, wie am horizontalen Cylinder verwenden. Im letzteren Falle ist natürlich die Mikrometervorrichtung auf einem Querarm anzubringen. Seine Handhabung ist bequem und sicher. Das Tischchen kann auch zur Aufnahme von Nebenapparaten u. dgl. dienen.

II. Die Einstellung der Schreibspitzen.

Die Spitze des Zeichenhebels soll die Schreibfläche nur an einem Punkte berühren. Sie soll sich bei ihren Ausschlägen mit gleichmässiger und nur geringer Reibung auf der Schreibfläche verschieben und darf

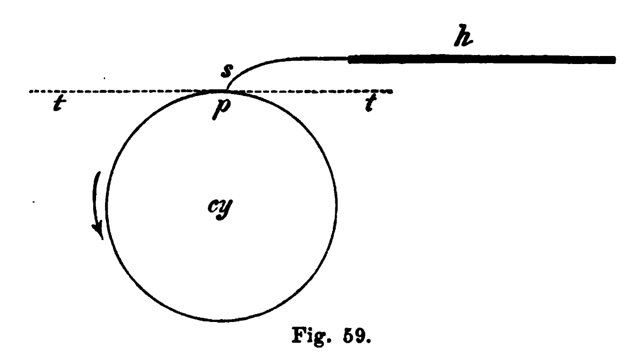


Fig. 59.

sich niemals von ihr entfernen. Alles dieses kann man durch einen von Marey gelehrten Kunstgriff erzielen. Man biegt nämlich die Zeichenspitze nach der Zeichenfläche hin ein wenig ab und stellt den zu

ihr gehörigen Hebel so ein, dass seine Bewegungsebene parallel liegt zu der Ebene der vorbei geführten Platte, oder, bei Verwendung des Cylinders, zu einer durch den Berührungspunkt der Hebelspitze mit dem Trommelmantel gelegten Tangentialebene. Fig. 59 und 60 stellen diese Anordnung in etwas übertriebener Weise im Querschnitt dar; *cy* in Fig. 59 ist der Cylinder, *p* sein Berührungspunkt mit der dem Schreibhebel *h* zugehörigen Spitze *s* und *tt* die entsprechende Tangentialebene. In Fig. 60 ist *pl* der Querschnitt der berussten Platte, *h* wieder der Hebel, *s* seine Spitze.

Für solche Zwecke ist natürlich die Anwendung einer biegsamen und leicht federnden Schreibspitze aus Metallblech sehr nützlich. Auch eine Zeichenspitze von der in Fig. 61 dargestellten Form, die aus stärkerem Metalldraht, etwa aus einer Stecknadel gebogen ist, kann zuweilen passend sein. Sie bietet zudem noch den Vortheil dar, dass man sie ohne Gefahr auch „gegen den Strom“ zeichnen lassen kann. Für gewöhnliche Spitzen nämlich

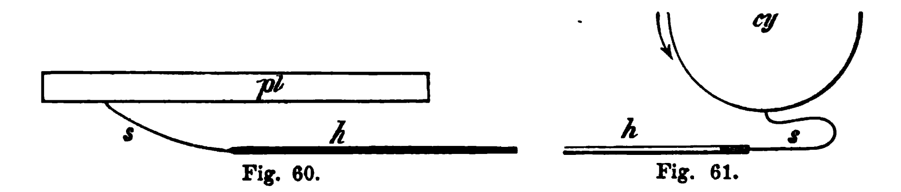


Fig. 60. Fig. 61.

ist in der Regel die Anordnung so zu treffen, dass die bewegte Fläche sich von ihnen weg bewegt, wie das in Fig. 59 durch den Pfeil angedeutet ist. Drehte der Cylinder sich in entgegengesetzter Richtung, so würden die kleinsten auf ihm befindlichen Unebenheiten die zarte Zeichenspitze leicht umbiegen und dadurch viel Unheil anrichten. Die kräftige Schreibspitze in Fig. 61 überwindet, falls sie etwas abgestumpft ist, kleine Hindernisse auch bei einer ihr zugewendeten Umdrehungsrichtung sehr leicht, und grössere Ungleichmässigkeiten des Papiers sollten überhaupt vermieden sein. Doch eignet sich diese Form der Schreibspitze nur dann, wenn man entweder auf ebene Platten zeichnet oder wenn, bei Verwendung der Trommel, nur Ausschläge von geringer Amplitude gezeichnet werden sollen. Macht der am Cylinder schreibende Hebel grössere Excursionen, so muss die Feder sehr biegsam sein, um sich der Krümmung der Schreibfläche anschmiegen zu können.

Die Reibung der Schreibspitze an der Schreibfläche soll eine geringe sein; indessen sollte man in den zu stellenden Anforderungen

nicht so weit gehen, dass man für alle Fälle eine verschwindend kleine Reibung verlangt. Mitunter ist nämlich ein gewisser Grad davon geradezu nützlich und erforderlich. Theorie und Praxis lehren nämlich übereinstimmend, dass Eigenschwingungen gewisser Schreibapparate durch nichts besser gedämpft werden, als wenn man einen kleinen Reibungswiderstand einführt. Die Treue der Zeichnung leidet nicht nur nicht, sondern wird sogar vermehrt.

Die Hilfsmittel, deren man sich zur richtigen Einstellung der Schreibspitze bedient, sind im vorangehenden Paragraphen geschildert worden. Sie beziehen sich alle auf die gewöhnliche tangential schreibende Zeichenspitze. Bei der Stirnschreibung hat man die Regulirung der Reibung weniger in der Hand, da die Schreibspitze hier von vornherein mit einem gewissen überminimalen Drucke der Zeichenfläche anliegen muss. Um aber auch hier einen zu starken Druck zu vermeiden und um, was oft wünschenswerth wird, die Schreibspitze schnell abheben und anlegen zu können, versieht man sie nach dem Vorgang von Helmholtz mit einem Faden, der hinten an einem drehbaren Wirbel befestigt ist. Je nachdem man vermittelst des Wirbels den Faden stärker oder schwächer spannt, nähert man die Schreibspitze dem Cylinder oder entfernt sie von demselben.

Ueber die Anlegung der Farbschreiber ist nichts besonderes zu bemerken.

Sind mehrere Schreibvorrichtungen gleichzeitig zu benutzen, so kann man sie zuweilen auf demselben Träger befestigen. Man wird oft den Wunsch haben, dass die Aufzeichnungen genau übereinander stattfinden. Die Schreibspitzen müssen dann so aufgestellt werden, dass sie in ihrer Ruhestellung genau in einer senkrechten resp. horizontalen Linie liegen.

Will man gleichartige Schreibapparate oder solche von ähnlichen Dimensionen gleichzeitig schreiben lassen, so setzt man sie auf dasselbe Stativ und macht von vornherein ihre Zeichenhebel und -spitzen gleich lang. Die genaue Uebereinanderstellung hat dann bei Benutzung des Baltzar'schen Cylinders in der Regel keine Schwierigkeit. Hat man nämlich die Einstellung gemacht, so wird bei ruhenden Hebeln der Cylinder gehoben oder gesenkt. Die verticalen Striche, die dann die beiden Schreibspitzen zeichnen, sollen genau in einander fallen. Ist das nicht der Fall, so ändert man so lange die Länge des einen oder des anderen Hebels, bis genaue Coincidenz eintritt. Wird ein Cylinder benutzt, der in seiner Axenrichtung nicht verschoben werden kann, z. B. der Registrircylinder von Marey, so muss der die Schreibapparate führende Träger längs der Cylinderaxe verschiebbar sein.

Die Prüfung der genauen Uebereinanderstellung ist dann in ähnlicher Weise vorzunehmen, wie oben.

Wenn die einzelnen Schreibvorrichtungen nicht geeignet sind, auf demselben Stativ angebracht zu werden, wenn ihre Schreibhebel z. B. von zu ungleicher Länge sind, oder wenn die eine davon durch ihren grossen Umfang die Handhabung der anderen zu sehr stören würde, so empfiehlt es sich, sie gegeneinander zu stellen. Fig. 121 zeigt eine solche Anordnung. Dass die Schreibspitzen der einen Seite dann gegen die Umdrehungsrichtung des Cylinders schreiben, was man ja im allgemeinen gern zu vermeiden sucht, hat nichts auf sich, wenn man ihnen eine passende Form gibt. (s. o.) Die zeichnenden Spitzen der beiden Apparate sind bei dieser Anordnung ziemlich leicht genau übereinander anzubringen; die Prüfung geschieht, wie sonst, durch Hebung oder Senkung der Trommel.

In vielen Fällen, besonders aber dann, wenn mehr als zwei oder drei Schreibapparate zu gleicher Zeit wirksam sein sollen, verzichtet man darauf, die Spitzen der Schreibhebel genau über einander zu orientiren. Man begnügt sich dann mit der Kenntnis ihrer Abweichungen. Wie man hier verfahren muss, und wie man dann in den gewonnenen Curven die zu einander gehörigen synchronen Punkte wiederfindet, soll in einem späterem Abschnitt auseinandergesetzt werden.

Vierter Abschnitt.

Optische Mittel zur graphischen Darstellung.

Erstes Capitel.

Der Lichtstrahl als Schreibhebel. Manometrische Flammen und rotirende Spiegel.

Wir haben in diesem Abschnitt graphische Darstellungsweisen kennen zu lernen, die von den bisher vorgetragenen sich wesentlich unterscheiden. Auch bei ihnen spielt zwar eine Art von Fühlhebel die Rolle der Schreibvorrichtung; aber derselbe ist ohne Masse und ohne Schwere, er zeichnet auf eine eigenthümliche Registrirfläche mit beliebiger Vergrösserung und ohne jede Reibung, er besteht aus einem Lichtstrahl.

Nehmen wir an, an einem sich periodisch bewegenden Körper, etwa an der Spitze eines schwingenden elastischen Stabes sei ein Punkt, z. B. ein kleiner an ihm befestigter Metallknopf, hell beleuchtet. Schwingt der Stab, so bewegt sich der leuchtende Punkt mit. Die Schwingungsrichtung sei vertical. Dem Auge eines Beobachters erscheint dann in Folge der Andauer des Lichteindruckes der von dem Knopfe zurückgelegte Weg als eine senkrechte glänzende Linie. Dreht der Beobachter nun sein Auge oder besser den Kopf schnell von rechts nach links oder umgekehrt, so löst sich die leuchtende Linie in eine continuirliche Curve auf. Das Princip, nach welchem dieses Curvenbild entsteht, ist kein anderes als das allgemeine Princip der Selbstregistrirung; der in Bewegung gesetzte Schreibhebel ist hier das von dem Knopfe reflectirte Lichtbündel, die bewegte Fläche ist die lichtempfindliche Netzhaut, auf der sich der von der Spitze des Lichthebels zurückgelegte Weg in Folge der Andauer der Erregung in ähnlicher Weise markirt, wie der Gang eines wirklichen Schreibstiftes auf der geschwärzten Platte.

Zur Anstellung dieses Versuches verfährt man am besten folgendermassen. Auf die Schmalseite der einen Zinke einer Stimmgabel klebt man mit etwas Wachs den abgeschnittenen Kopf einer Stecknadel. Darauf überzieht man die Umgebung dieses glänzenden Punktes zur

Erhöhung des Contrastes mit Russ. Stellt man sich jetzt, indem man die Stimmgabel in der Hand hält, mit dem Rücken gegen das Fenster, und schlägt man die Stimmgabel an, so sieht man, wenn dabei der Kopf hin und her bewegt wird, eine glänzende Sinuscurve auf dunklem Grunde. Hält man die Gabel vertical, so hat man nickende Kopfbewegungen auszuführen; hält man sie wagerecht, so muss man schüttelnde Kopfbewegungen machen.

Ebenso kann man sich auch die Schwingungscurve einer „singenden Flamme", die sich periodisch streckt und verkürzt, durch rasche Seitenwendungen des Kopfes oder der Augen leicht zur Anschauung bringen.

Die gleichen Erfolge müssen natürlich eintreten, wenn man nicht das Auge, sondern den vibrirenden Körper selbst in einer zu seiner Schwingungsrichtung senkrechten Richtung bewegt; ebenso wie man zur graphischen Darstellung nach den früher behandelten Methoden auch gelangen kann, indem man den Schreibhebel am unbewegten Registrirapparat vorüberführt, anstatt ihn wie gewöhnlich auf die bewegte Fläche zeichnen zu lassen. So zeichnet die mit dem glänzenden Knopfe versehene schwingende Stimmgabel schöne verticale, horizontale oder kreisförmig in sich geschlossene Wellenlinien, wenn man sie entsprechend bewegt.

In manchen Fällen ist es aher zweckmässiger, nicht den schwingenden Körper zu bewegen, sondern sein Bild in einem Spiegel aufzufangen und die Auflösung desselben durch Drehung dieses Spiegels zu bewirken.

Stellt man z. B. neben einer singenden Flamme einen gewöhnlichen kleinen Spiegel so auf, dass das Bild der Flamme sichtbar wird und dreht man ihn um seine verticale Axe, so sieht man ein mit zierlichen Zacken versehenes leuchtendes Band. Das Band ist glatt begrenzt, so lange die Flamme ruht.

Weit eleganter wird der Versuch, wenn man sich des von R. Koenig angegebenen rotirenden Spiegels bedient.

Koenig hat diesen Spiegel unter anderem zum Studium der Vocalklänge benutzt. Der Vocalklang versetzt hierbei eine Flamme in oscillatorische Bewegung, und diese Bewegung löst der sich drehende Spiegel auf. Fig. 62 und Fig. 63 erläutern den zu diesem Zwecke dienenden Apparat.

In Fig. 62 ist die manometrische (druckempfindliche) Flamme dargestellt; *k* ist eine kleine Kammer, die durch die aus Kautschuk oder Goldschlägerhaut oder Papier bestehende Membran *mm* in zwei Abschnitte getheilt wird. Das Rohr *g* führt der vorderen Abtheilung

Gas zu; dasselbe brennt in der Stichflamme *f*; *z* ist ein Zuleitungsrohr, das in die hintere Kammerhälfte führt. Wird mit diesem ein Schalltrichter verbunden, und durch diesen ein Klang zugeleitet, so geräth die Membran *mm* in entsprechende Schwingungen und überträgt diese treu auf die bei *f* brennende „empfindliche" Flamme. Vor dieser Flamme bewegt man nun den Spiegel.

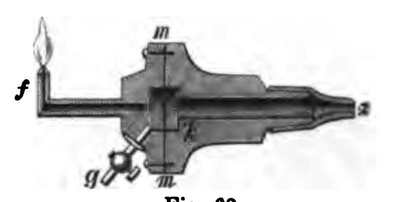


Fig. 62.
König'sche Kapsel mit empfindlicher Flamme. (1/3 nat. Gr.)

Derselbe ist in Fig. 63 mit *sp* bezeichnet. Er besteht aus einem Würfel, dessen verticale Flächen Spiegelplatten sind. Vermittelst einer aus der Abbildung leicht zu verstehenden Triebvorrichtung lässt er sich um seine senkrechte Axe in

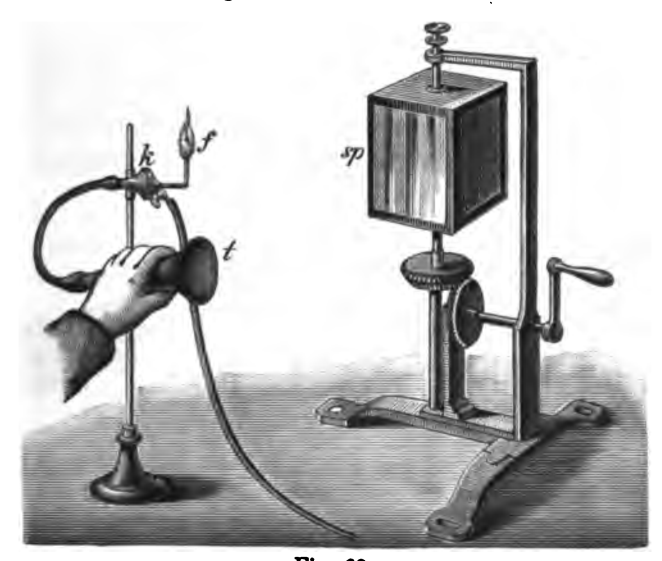


Fig. 63.
Rotirender Spiegel und manometrische Flamme. (nach Koenig). (1/10 nat. Gr)

Rotation versetzen. Ist nun die manometrische Kapsel so vor ihm aufgestellt, dass man das Spiegelbild der Flamme sieht, so erscheint dem Beschauer dasselbe in der Form eines leuchtenden Bandes, so lange die Flamme ruht und der Spiegel gedreht wird. Wird die Membran der Kapsel dagegen mit einem Vocal angesungen, so erscheinen im Spiegel die prächtigsten Vocalklangcurven. Eine derartige Curve, dem Vocal *A* entsprechend, gibt Fig. 64 wieder. Lässt man eine einen einfachen Ton gebende Stimmgabel auf den Schallbecher wirken, so lässt der Spiegel einfache Sinuscurven erscheinen.

Endlich sei hier der objectiven Darstellung leuchtender Curven gedacht. Anstatt nämlich die Lichtbilder direct oder im Spiegel zu betrachten, kann man sie auf einen Schirm, eine Wand projiciren. Auch dazu kann man sich eines Spiegels bedienen.

Es sei wieder an einem schwingenden Stab ein Punkt stark beleuchtet. Ist seine Helligkeit gross genug, so kann man vermittelst eines Spiegels sein Bild auf einen entfernten Schirm werfen. Alle Bewegungen des Punktes werden sich auf diesem in vergrössertem Massstabe darstellen und die Vergrösserung wird umso beträchtlicher sein müssen, je weiter der auffangende Schirm vom Spiegel entfernt ist. Ebenso wandert das projicirte Bild, wenn der leuchtende Punkt ruht, der Spiegel aber gedreht wird, selbst bei geringen Drehungen um grosse Strecken. Dreht man nun den Spiegel, während der Stab



Fig. 64.
Vocalklangcurven.

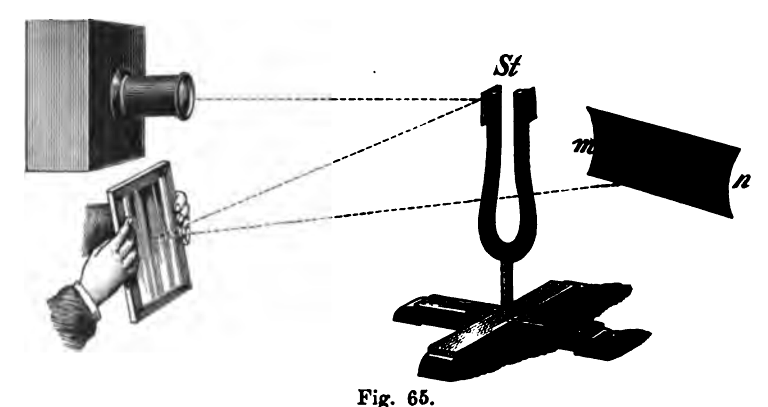


Fig. 65.
Projection der Schwingungen einer Lissajous'schen Stimmgabel (nach Tyndall).

vibrirt, so verzeichnet sich auf dem Schirm die Schwingungscurve in grossen leuchtenden Zügen.

Am zweckmässigsten ist es, auf dem schwingenden Körper als zu beleuchtendes Object einen kleinen Spiegel anzubringen, den ein Bündel Sonnenstrahlen oder das concentrirte Licht einer künstlichen Lichtquelle hell bestrahlt. Einer der schönsten Versuche dieser Art ist die objective Darstellung der Schwingungen einer Lissajous'schen Stimmgabel. In Fig. 65 (nach Tyndall) ist *St* eine grosse Stimm-

gabel, die an ihrer einen Zinke ein Metallspiegelchen trägt (die andere Zinke trägt ein Gegengewicht). Lässt man ein dünnes Bündel Lichtstrahlen aus einer elektrischen Lampe auf den Spiegel fallen und fängt man die reflectirten Strahlen mit einem kleinen Handspiegel auf, so kann man dieselben auf einen entfernten Schirm werfen, auf welchem dann ein kleiner leuchtender Kreis entsteht. Versetzt man die Gabel in Schwingungen, so verlängert sich der Kreis zu einem langen verticalen Streifen; dreht man nun den Spiegel so, dass der Lichtreflex auf dem Schirm sich von der einen nach der andern Seite bewegt, so erscheint die leuchtende Wellenlinie *mn*.

Ein ganz ähnliches Verfahren hat Czermak zur optischen Darstellung des Pulses angewendet. Hier ruht auf der untersuchten Arterie ein leichtes Spiegelchen, welches, ähnlich wie das in Fig. 65 beleuchtet, bei jedem Pulse sich mitbewegt. Wirft man das von ihm reflectirte Licht wieder vermittelst eines zweiten Spiegels auf eine Wand und dreht man diesen um eine senkrechte Axe, so erscheint auf der Wand eine Pulscurve von ungeheuren Dimensionen, die, falls das Pulsspiegelchen leicht ist, weder durch die Reibung, noch durch die träge Masse des Schreibapparates entstellt sein kann.

Dieses Verfahren, das sich möglicherweise auch für andere Untersuchungen fruchtbar erweisen dürfte, kann man dahin vereinfachen, dass nur das stark beleuchtete Pulsspiegelchen als Reflector benutzt wird. Lässt man dasselbe den Reflex auf einen Schirm werfen, den man rasch bewegt, so muss auf diesem die Curvenzeichnung erscheinen.

Den Stimmgabelversuch kann man so modificiren, dass man auf den Spiegel einer in der Hand gehaltenen Lissajous'schen Gabel Sonnenlicht fallen lässt, so dass ein Reflexbild auf der Wand oder an der Decke des Zimmers erscheint. Versetzt man die Stimmgabel in Schwingungen und führt man während derselben kleine Drehungen mit ihr aus, so erscheint ebenfalls eine mächtige leuchtende Curve. Es ist nicht einmal nöthig, dabei das Zimmer zu verdunkeln.

Alle diese Darstellungsweisen, so gut sie sich auch zur ersten Beantwortung einzelner Fragen eignen mögen und so sehr sie sich zum Theil auch bewähren, wenn es gilt, gewisse Bewegungserscheinungen einer grösseren Zuhörerschaft deutlich zu machen, sie liefern zu vergängliche Bilder, als dass man daran denken könnte, eingehende Untersuchungen mit ihrer Hilfe anzustellen.

Aber es bedarf nur eines kleinen Schrittes, um zu einer Festhaltung dieser flüchtigen Schrift zu gelangen, und so auf optischem Wege dauerhafte graphische Darstellungen zu gewinnen, welche die

mit anderen Hilfsmitteln gewonnenen an Genauigkeit und Schönheit nicht nur erreichen, sondern sogar vielfach übertreffen. Die Handhabe dazu bietet die Photographie.

Zweites Capitel.

Die photographische Registrirmethode.

Denken wir uns bei dem zweiten der oben erwähnten Pulsspiegelversuche den auffangenden Schirm ersetzt durch eine photographisch präparirte Platte, sorgen wir dafür, dass das auf dieser entworfene Reflexbild scharf und klein sei, und geben wir der Platte eine Bewegung in der zur Oscillation des Bildes senkrechten Richtung, so wird an die Stelle des schnell vorübergehenden Lichtreflexes ein Photogramm treten, welches dauernd aufbewahrt und genauen Messungen unterworfen werden kann.

Die Photographie ist dazu berufen, ein wichtiges Hilfsmittel der physiologischen Methodik zu werden. Schon jetzt ist der Gewinn, den die physiologische Graphik aus der Benutzung der Photographie gezogen hat, ein bedeutender zu nennen. Es sei hier erinnert an die successiven Momentaufnahmen von Bewegungserscheinungen, wie sie zuerst der Amerikaner Muybridge, dann Anschütz, besonders aber Marey in so ausgezeichneter Weise ausgeführt haben, und durch welche die complicirtesten Bewegungsformen, wie der Vogelflug, die Gangarten des Pferdes, der Gang, Lauf und Sprung des Menschen in ihre einzelnen Phasen aufgelöst worden sind. Doch nicht von diesen bewundernswerthen Anwendungen der Photographie soll hier gehandelt werden. Wir müssen uns darauf beschränken, solche photographische Registrirungen zu betrachten, bei denen es sich um eine stetige Darstellung linearer Bewegungen handelt, und bei denen Methoden verwendet werden, die geeignet sind, einfache unmittelbar verständliche Curvenzeichnungen zu liefern.

Die photographische Registrirung wird in vielen Fällen anwendbar sein, in denen die sonst üblichen graphischen Hilfsmittel versagen. Die Grössenschwankungen einer Flamme, die Oscillationen eines leuchtenden Punktes sind anders als auf photographischem Wege nicht festzuhalten. Viele Bewegungen sind so schwach oder so empfindlich gegen äussere Einflüsse, dass die Belastung des bewegten Körpers mit einer Schreibvorrichtung sie auslöschen oder deformiren würde, andere

sind den gewöhnlichen Schreibwerkzeugen ganz unzugänglich. Setzen wir den Fall, wir wollten die durch elektrische Spannungsdifferenzen hervorgerufenen Ausschläge eines Capillarelektrometers registriren. Die Ausschläge des Quecksilberfadens sind mikroskopisch klein, er selbst eingeschlossen in eine capillare Röhre. Jedes andere Verfahren als das der photographischen Registrirung ist hier gänzlich ausgeschlossen. Eine Membran werde durch den Schall in Schwingungen versetzt. Lassen wir diese sich in der gewöhnlichen Weise auf einen Schreibhebel übertragen, so werden sie, selbst wenn wir ihn möglichst leicht und so kurz machen, dass wir nur fast mikroskopisch kleine Aufzeichnungen erhalten, allzuleicht durch Eigenschwingungen und durch Reibung verändert und entstellt. Der gewichts- und reibungslose Lichthebel gibt dagegen jene Schwingungen auf das treueste und unter beliebiger Vergrösserung wieder.

Über die Art und Weise, wie man zu verfahren hat, um Bewegungsvorgänge photographisch aufzuzeichnen, können zur Zeit allgemeine Regeln kaum gegeben werden. Wir werden uns deshalb darauf beschränken, an einigen Beispielen die Grundzüge der Methode darzulegen. Von eigentlichen photographisch-technischen Vorschriften müssen wir ohnehin absehen. Nur über die am meisten sich empfehlenden Registrirvorrichtungen und über die bei derartigen Versuchen zu benutzenden Beleuchtungsweisen seien hier einige Bemerkungen gemacht.

Zur Aufnahme der photographischen Zeichnung dient eine lichtempfindliche Fläche, der man eine gleichförmige Bewegung ertheilt. An Stelle der früher häufiger angewendeten Trockenplatten bevorzugt man neuerdings mit Recht Bromsilbergelatinepapiere, welche neben grosser Lichtempfindlichkeit den Vortheil darbieten, dass man damit die Kymographiontrommel überziehen kann, also nicht nöthig hat, dieses so ausserordentlich bequemen und zuverlässigen Registrirapparates zu entrathen.[1])

Das empfindliche Papier wird wie das sonst gebräuchliche Glanzpapier am Cylinder befestigt; will man nicht die ganze Trommelfläche bekleiden, so befestigt man das Papierstück durch zwei Gummiringe. Natürlich hat dies in der nur durch das Licht der Rubinglaslampe erleuchteten Dunkelkammer zu geschehen. In ihr kann man auch alle

---

[1]) Tarchanoff und Kries haben sich bei ihren Untersuchungen eines Papiers bedient, das von F. Hutinet in Paris bezogen war. Hermann benutzte anfänglich Eastman-Papier, fand aber weit sensibler ein von Dr. F. Stolze in Charlottenburg hergestelltes Bromsilberpapier, dessen Empfindlichkeit durch Ammoniakbäder noch gesteigert werden konnte.

weiteren Manipulationen vornehmen, insbesondere auch die eigentlichen Versuche anstellen. Auf jeden Fall aber ist der empfindliche Cylinder durch ein lichtdichtes Gehäuse vor Nebenlicht zu schützen. Dasselbe muss einen passenden, durch ein mit feinem Spalt versehenes Diaphragma verschliessbaren Ausschnitt besitzen, durch welchen der zeichnende Lichtstrahl auf das Papier fällt; ein anderes Fenster soll das Ingangsetzen und Anhalten des Uhrwerkes ermöglichen.

Das Licht, mit dessen Hilfe man auf die empfindliche Fläche zeichnet, muss hell, gleichmässig und von starker chemischer Wirksamkeit sein. Je heller und wirksamer die Lichtquelle ist, desto enger kann man den lichtzulassenden Spalt machen, desto zartere Zeichnungen kann man somit entwerfen. Auch wächst mit der zunehmenden Lichtstärke die Grösse der zulässigen Cylindergeschwindigkeit.

Die Beleuchtung durch directes oder von einem Heliostaten reflectirtes Sonnenlicht ist deshalb zu photographischen Versuchen sehr geeignet. Als ebenbürtig ist ihm das elektrische Bogenlicht an die Seite zu stellen; ja es empfiehlt sich das letztere in nördlichen Gegenden, wo die Sonne oft wochenlang ihre Mitwirkung versagt, sogar noch mehr. Von anderen künstlichen Lichtquellen käme noch das Magnesium- und das Kalklicht in Betracht. Muss Gaslicht verwendet werden, so kann man die chemische Wirksamkeit desselben durch Beimengung von Naphthalin- oder Benzindämpfen steigern.

Nach diesen Vorbemerkungen wollen wir versuchen, die für die photographische Registrirung zu treffenden Anordnungen an drei typischen Beispielen zu erläutern. Natürlich erschöpfen diese nicht entfernt die möglichen Versuchsweisen. Neue Probleme werden neue Methoden fordern. In der Absicht dieses Buches liegt es nur, das bereits als bewährt Erkannte zu fixiren.

I. Photographische Darstellung von Flammenbewegungen.

Dass eine vibrirende Flamme Gegenstand der photographischen Darstellung werden könne, ist schon aus dem im vorigen Capitel Angeführten ersichtlich. Wie man hier vorzugehen habe, hat v. Kries gezeigt. Bei seinen Versuchen wirkten die mit der veränderlichen Blutströmung einhergehenden Volumschwankungen des von einem lufthaltigen Blechärmel umschlossenen Vorderarmes auf eine empfindliche Gasflamme. Die Zuckungen derselben sollten auf die bewegte Fläche des senkrechtstehenden Cylinders gezeichnet werden.

Zunächst war die Flamme auf das lichtempfindliche Papier zu projiciren. Dies geschah mit Hilfe eines photographischen Objectivs,

welches ein reelles und in passender Weise verkleinertes Bild der Flamme entwirft. Liesse man dieses Bild ohne weiteres auf das Papier schreiben, so würde man eine nur sehr grobe Zeichnung erhalten; man würde verfahren, wie wenn man auf das berusste Papier mit einem dicken Pinsel anstatt mit einer feinen Zeichenspitze schriebe. Aus dem Flammenbilde schneidet man deshalb einen schmalen verticalen Streifen aus, indem man dicht vor der Trommel einen scharfen senkrechten Spalt von ausreichender Grösse anbringt. Wo im Bereich dieses Spaltes die Flamme wirkt, schwärzt sich die Fläche. Schwankt sie auf und nieder, so hebt sich, wenn man die Trommel in Bewegung gesetzt hatte, der geschwärzte Theil des Papiers von dem unverändert gebliebenen durch eine wellenförmige Grenzlinie ab.

Die in Fig. 66 (nach Kries) mitgetheilte Aufzeichnung (die positive Reproduction des Originalnegativs) möge eine Probe von der Leistungsfähigkeit dieses Verfahrens geben.

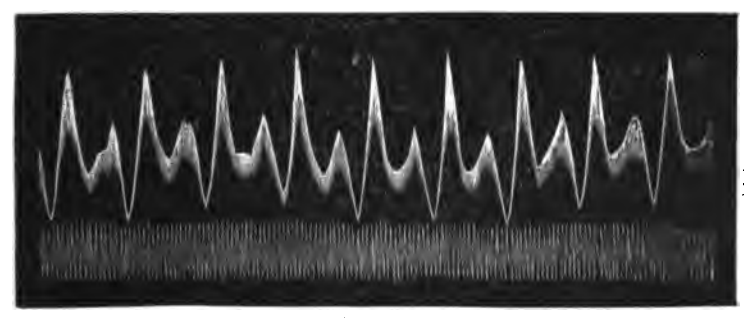


Fig. 66.
Strompulse, auf photographischem Wege registrirt (nach v. Kries)

Die von rechts nach links zu lesenden Curven stellen den zeitlichen Verlauf der Stromstärke der Pulswelle dar. Man erkennt das Ansteigen und den Abfall, die starke dikrote Welle u. s. w. Die untere Curve ist eine chronographische. Sie wurde dadurch gewonnen, dass eine zweite unter dem Hauptbrenner befindliche Flamme durch eine auf eine Marey'sche Kapsel wirkende Stimmgabel in Schwingungen versetzt wurde.

Natürlich könnte man die Zeit auch noch in anderer Weise zur Darstellung bringen. Man kann dazu einen zweiten unter dem Hauptspalt befindlichen beleuchteten Spalt benutzen, den man durch ein Pendel, durch den Schreibhebel eines vibrirenden Chronographen (s. Spec. Theil, Abschnitt I) u. s. w. periodisch verdecken und wieder freigeben lässt. Oder man lässt den Zeitvermerker vor dem Hauptspalt spielen, und erzeugt so kleine Lücken in der Curvenzeichnung, deren Abstände bestimmten Zeitintervallen entsprechen.

II. Photographische Aufzeichnung der Bewegungen einer in eine Röhre eingeschlossenen Flüssigkeit.

Ein anderer Fall, in welchem die Photographie von Nutzen sein kann, ist die Darstellung von Flüssigkeits-Bewegungen, welche, wie die bereits erwähnten Schwankungen des Capillarelektrometers, die Verwendung anderweitiger Schreibvorrichtungen nicht gestatten. Photogramme dieser Art sind zuerst von Marey gezeichnet worden; später haben Burdon-Sanderson, Fredericq, Fano u. A. die Oscillationen des zum Studium der galvanischen Veränderungen des schlagenden Herzens benutzten Elektrometers photographirt.

Das Verfahren ist hier folgendes: Die dünne Quecksilbersäule wird durch Sonnenlicht oder von einer elektrischen Lichtquelle aus beleuchtet. Ihr Bild wird vermittelst eines mikroskopischen Objectivs auf den mit lichtempfindlichem Papier überzogenen Cylinder eines Kymographions geworfen. Das Bild muss stark vergrössert sein, damit die schwachen Bewegungen des Quecksilbers sich aus-



Fig. 67.
Actionsstrom des pulsirenden Hundeherzens. Photographische Registrirung der Ausschläge des Capillarelektrometers. (nach Fredericq)

reichend markiren. Da aber durch das Mikroskop das Bild zugleich in unwillkommener Weise verbreitert wird, schneidet man aus ihm wieder durch einen mit engem Spalt versehenen Schirm ein Stück aus, und erlaubt nur diesem den Zutritt zu dem Papier des Cylinders. In möglichst geringer Entfernung hinter dem Spalt befindet sich die natürlich im Uebrigen vor Licht zu schützende Schreibfläche.

Auf diese Weise ist die Aufzeichnung gewonnen, die Fig. 67 nach Fredericq wiedergibt. Sie ist eine directe Reproduction des gewonnenen Negativs. Das ausgeschnittene noch schlagende Herz eines Hundes war zum Capillarelektrometer abgeleitet. Der Bestandstrom erfuhr bei jeder Systole eine Schwankung, deren Form, Sinn und Grösse die photographische Aufzeichnung wiedergibt. Das empfindliche Papier ist dort weiss geblieben, wo es von dem Schatten des sich bewegenden Quecksilberfadens getroffen wurde. Die Begrenzungen der weis-

sen Flächen der Zeichnung sind also ein treuer Ausdruck der Oscillationen des Elektrometers.

Ähnlich wie bei diesem Instrument wird man in gewissen anderen Fällen verfahren können. Sollen die Niveauschwankungen von Wassermanometern graphisch dargestellt werden, so ist zuweilen die Anwendung von schreibenden Schwimmern sehr umständlich, ja unmöglich. Durch die Photographie lässt sich die Schwierigkeit überwinden.

Ein solches Manometer wird man in der Regel nicht im vergrösserten, eher im verkleinerten Massstabe zu projiciren haben. Durch Einschaltung einer passenden Linse wird es leicht gelingen, die günstigste Bildgrösse zu erzeugen. Das Wasser des Manometers könnte man roth färben; das durch das Glasrohr zur Trommel gelangende Licht würde dadurch dort, wo es das Wasser zu durchsetzen hat, seiner chemisch wirkenden Strahlen beraubt, während es durch die anderen Theile des Rohres unverändert hindurchpassiren könnte. Im Photogramm müsste sich dann das Bild der Wassersäule hell von der dunklen Nachbarschaft abheben. Allein auch ohne dieses Hilfsmittel grenzt sich im projicirten Bilde der mit Wasser gefüllte Theil der Röhre, insbesondere der Meniscus, von dem lufthaltigen deutlich ab. Es sei hier auf die schönen Aufzeichnungen hingewiesen, die Cybulski erhielt, als er die Höhenstände eines Differentialmanometers photographirte, welches nach dem Pitot'schen Princip die wechselnde Stromgeschwindigkeit des Blutes darstellte.

Anstatt Bewegungen dieser Art im durchfallenden Lichte zu photographiren, kann man übrigens in manchen Fällen auch auffallende Beleuchtung benutzen. Man stellt dann die betreffenden Vorrichtungen vor einem schwarzen Hintergrund auf und beleuchtet sie von vorn möglichst intensiv.

III. Photographische Registrirung der Oscillationen eines Spiegels.

Für gewisse Zwecke ist es wünschenswerth, an dem bewegten Körper ein Spiegelchen anzubringen und dessen Oscillationen zu photographiren. Der Spiegel wird dann hell beleuchtet, das von ihm reflectirte Lichtbündel dient als Schreibhebel.

Dieses Verfahren hat neuerdings Hermann bei seinen Untersuchungen über die Natur der Vocalklänge angewendet und zu grosser Präcision gebracht. Im ganzen ist die Art des Vorgehens hier nicht wesentlich verschieden von der Methode des Flammenphotographirens; man ist aber in der Lage, hier Zeichnungen von viel

grösserer Schärfe und Zartheit zu erhalten, da man das schreibende Lichtbündel auf einen minimalen Querschnitt bringen kann.

Hermann befestigt an einer resonatorischen Platte oder Membran ein äusserst leichtes Spiegelchen in der Weise, dass es, wenn die Platte von einem Schall, z. B. von einem Vocalklang getroffen wird, entsprechende Schwingungen um eine verticale Axe ausführt. Eine elektrische Laterne beleuchtet einen senkrechten Spalt; von diesem entwirft eine dicht vor dem Membranspiegel aufgestellte schwache Convexlinse auf dem Spiegel ein verkleinertes reelles Bild. Der Spiegel wirft dasselbe wieder durch dieselbe Linse auf einen geschwärzten Schirm, der einen sehr feinen horizontalen Spalt trägt. Dicht hinter diesem befindet sich eine liegende Baltzar'sche Trommel, die mit dem empfindlichen Papier überzogen ist. Schwingt der Spiegel, so verschiebt sich das Spaltbild auf dem Schirm in horizontaler Richtung, und der von dem Querspalt durchgelassene Theil desselben wirkt auf das Papier des im übrigen natürlich völlig lichtdicht abgeschlossenen Cylinders. Durch passende Regulirung der Spaltweite kann man auf diese Weise zu beliebig feinen Aufzeichnungen der Membranschwingungen gelangen, die an Deutlichkeit und Schönheit nicht zu übertreffen sind. Fig. 68, die nach einigen mir von Herrn Prof. Hermann zu diesem Zwecke überlassenen Aufzeichnungen copirt ist, möge davon ein Beispiel geben. Die oberste Curve entspricht dem Vocal *A*, die mittlere dem *U*, die dritte dem *O*. Alle drei Vocale waren auf den Ton *h* gesungen.

Fig. 68.
Phonophotographische Curven, nach Originalen von Hermann.

Die Spiegelmethode ist natürlich auch zur Aufzeichnung von Bewegungen anderer Art verwendbar. So gelingt es, mit Hilfe derselben auch den Arterienpuls photographisch zu registriren. Schon Czermak hatte angegeben, wie man in diesem Falle verfahren müsse. Neuerdings ist es Bernstein gelungen, auf diese Weise schöne Zeichnungen von der Radialarterie zu gewinnen. Noch mehr Vortheile dürfte das Verfahren vielleicht für das Studium des Venenpulses darbieten, welcher der Untersuchung mit den sonstigen graphischen Hilfsmitteln grosse Schwierigkeiten bereitet.

Hermann hat nach demselben Princip die Ablenkungen eines leichten Galvanometerspiegels photographirt und ist auch hierbei bereits zu sehr befriedigenden Resultaten gelangt.

Fünfter Abschnitt.

Glyphische Curvenzeichnung.

Bei den bisher erwähnten Methoden der Selbstregistrirung war die Anordnung eine solche, dass der schreibende Stift bei seinen Ausschlägen in der Ebene der bewegten Fläche verblieb. Hier möge noch eine Art der graphischen Aufzeichnung erwähnt werden, die man nicht unpassend eine glyphische genannt hat. Die aufzuschreibende Bewegung ist hier normal gegen die bewegte Fläche gerichtet, und der rotirende Cylinder, auf welchen geschrieben wird, ist mit einem aus einer nachgiebigen Masse (wahrscheinlich Wachs und Paraffin) hergestellten Mantel umgeben, der leicht Eindrücke aufnimmt und bewahrt. Indem der schreibende Stift sich bewegt, meisselt er seinen Weg in die Mantelmasse ein; dreht sich der Cylinder, so entsteht eine versenkte Curvenzeichnung, die je nach der Stärke und den Schwankungen der aufgezeichneten Bewegung mehr oder weniger tief in die Cylindermasse eingegraben wird. Die zugehörige Abscissenaxe entspricht dem Cylinderumfang. Legte man nach geschehener Aufzeichnung durch den Cylinder einen Schnitt senkrecht zu seiner Axe, so könnte man sich die Curven zur unmittelbaren Anschauung bringen.

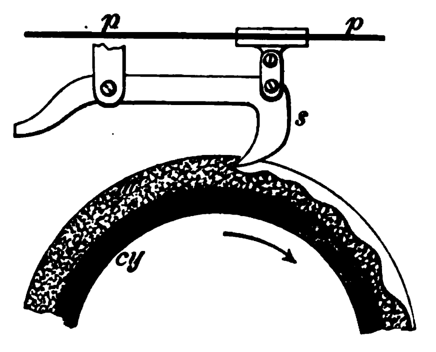


Fig. 69.
Schematischer Durchschnitt durch den Edison'schen Phonographen (nach Witt).

Bisher ist diese Art der graphischen Darstellung nur für einen Zweck verwendet worden. Bekanntlich hat sie Edison bei seinem Phonographen benutzt. Hier möge zur leichteren Verständlichkeit des Verfahrens ein Schema Platz finden, das ich im wesentlichen einem Aufsatz von Witt in der Zeitschrift „Prometheus“ entlehne.

In Fig. 69 ist *pp* eine Membranplatte, die (z. B. durch Vocalklänge) in Schwingungen versetzt sein möge, *s* ist der an ihr befestigte Schreib-

stift, der seine Excursionen in den aus einer Wachsmischung bestehenden Mantel des Cylinders *cy* eingräbt. Die Figur lässt die Arbeit des meisselnden Stiftes erkennen.

Liesse man nach geschehener Aufzeichnung auf dem wieder in Bewegung gesetzten Cylinder einen leichten Fühlhebel so schleifen, dass er allen Vertiefungen und Erhebungen der Curve genau folgte, so könnte man die letztere in vergrössertem Massstabe auf einer gewöhnlichen mit Russ überzogenen Cylinderfläche zur Darstellung bringen. Jenkin und Ewing sowie Fick u. A. haben dies in der That gethan; doch benutzten sie noch das ältere Modell des Edison'schen Phonographen, bei welchem der Cylinder mit einem Stanniolmantel bekleidet war.

Natürlich muss bei dieser Reproductionsweise die Curvenzeichnung durch die unvermeidlichen Eigenschwingungen des Fühlhebels sehr gefälscht werden. Auch ist es fraglich, ob der tastende Hebel überall den oft sehr zarten Niveauunterschieden zu folgen im Stande ist. Es wäre deshalb sehr wünschenswert, die gezeichneten Curven auf andere Weise entwickeln zu können.

Man könnte daran denken, den mit der glyphischen Zeichnung versehenen Wachsmantel vermittelst eines Mikrotoms wie ein eingebettetes Organstück in feine Schnitte zu zerlegen und diese dann mikroskopisch zu untersuchen. Leider hat sich mir bei darauf gerichteten Bemühungen die grosse Sprödigkeit des Materiales, wenigstens des mir zur Verfügung gewesenen, als ein nicht überwindbares Hindernis entgegengestellt. Gräbt man in Paraffin von schneidbarer Härte ähnliche Zeichnungen ein, so gelingt es leicht, an feinen Mikrotomschnitten die Tiefe und Gestalt der eingegrabenen Zeichnung zu erkennen. Vielleicht liesse sich auch zur Bekleidung des Phonographencylinders ein Material finden, welches sich gleich geeignet zur Aufnahme der Zeichnungen wie zum Schneiden erwiese.

Für die Gegenwart wird man sich, um die Gestalt der Curven kennen zu lernen, auf indirecte Methoden beschränken müssen.

Sechster Abschnitt.

Verwerthung der Curven.

Erstes Capitel.

Allgemeine Bemerkungen zur Theorie der Curven.

Im Besitz einer durch Selbstregistrirung gewonnenen Curvenzeichnung ist man in der Lage, sich von den Grössenänderungen der untersuchten Function sehr genaue Vorstellungen zu bilden. Ist, was die Regel sein dürfte, die aufgezeichnete Bewegung als Function der Zeit dargestellt worden, so gibt die Curve eine präcise Auskunft über den zeitlichen Verlauf der Bewegung. Doch muss man verstehen, die Curvenschrift zu deuten.

Wir wollen für die folgende Betrachtung, in welcher einige allgemeine Bemerkungen zur Theorie der Curven ihren Platz finden sollen, die für viele Fälle berechtigte Annahme machen, es seien die Curven auf eine mit durchaus gleichförmiger Geschwindigkeit fortbewegte Registrirfläche gezeichnet worden.

Die unmittelbare Anschauung belehrt bereits darüber, ob eine Curve steigt oder fällt, d. h. ob die Function wächst oder abnimmt. Man erkennt ferner, falls die Nulllinie gezeichnet ist, ohne Weiteres, ob die Curve über der Abscissenaxe liegt oder ob sie theilweise oder gänzlich unterhalb derselben gelegen ist, d. h. ob den Ordinaten positive oder negative Werthe zukommen.[1])

Eine weitere Frage ist die, wie das Steigen oder Sinken der Curven geschieht. Die Function kann durch eine gerade Linie ausgedrückt sein, die sich unter mehr oder minder spitzem Winkel von der Abscissenaxe abhebt. Häufiger wird die Linie gekrümmt sein; in diesem Falle kann sie ihre Concavität oder ihre Convexität nach oben wenden. Eine geradlinig laufende Curve lehrt, dass die studirte Erscheinung sich proportional der Zeit verändert hat, d. h. dass

[1]) Negative Abscissenwerthe kommen naturgemäss bei der Registrirung nicht vor; für den Fall, dass die Aufzeichungvon rechts nach links erfolgte, liegen natürlich die positiven Werthe der Abscisse nach links von der Ordinatenaxe, da als positiv stets die Bewegungsrichtung anzusehen ist.

gleichen Zeitzuwachsen gleiche Bewegungszuwachse entsprochen haben. Construirt man für eine solche Curve eine Reihe äquidistanter Ordinaten, so erkennt man leicht, dass die Längendifferenzen aufeinander folgender Ordinaten einander gleich sind.

Die Steilheit des Anstieges belehrt darüber, ob die studirte Veränderung schnell oder langsam vor sich gegangen ist. Je spitzer der Winkel, den die Linie oder ihre Verlängerung mit der Abscissenaxe bildet, desto langsamer hat der Vorgang sich abgespielt, je mehr er sich dem Rechten nähert, desto schneller. Dies gilt aber nur unter der Voraussetzung, dass der Zeitwerth der Abscisse für die verglichenen Fälle derselbe gewesen, dass also die Registrirfläche mit der gleichen Geschwindigkeit verschoben worden ist. Bei grösserer Geschwindigkeit der Fläche steigt die Curve natürlich sanfter an, als bei kleinerer.

Hat man es mit einer krummen Linie zu thun, so ist von vornherein zu behaupten, dass die untersuchte Bewegung der Zeit nicht proportional gewesen ist. Die Krümmung kann, falls es sich um eine auf- und absteigende Curve handelt, entweder im steigenden oder im sinkenden Theil der Zeichnung oder in beiden vorhanden sein. Dabei kann die Convexität nach oben oder nach unten sehen. Die Krümmungen der Curven haben im absteigenden Aste eine andere Bedeutung als im aufsteigenden.

Nehmen wir an, es handle sich um eine ansteigende, nach oben convexe Curve. Eine solche Curve sagt aus, dass der Vorgang nicht proportional der Zeit, sondern schneller als diese angewachsen ist. Die Ordinaten-Differenzen sind einander nicht gleich, sondern sie nehmen zu. Sieht umgekehrt die Concavität der ansteigenden Curve nach oben, so bedeutet dies, dass die Function langsamer gewachsen ist, als die Zeit.

Häufig finden sich *S*- förmig gekrümmte Curven, die erst convex, dann concav verlaufen. Hier ist die untersuchte Bewegung erst mit zunehmender, dann mit abnehmender Geschwindigkeit angestiegen.

Eine entgegengesetzte Bedeutung erhalten die Krümmungen, wenn sie in den absteigenden Theil einer Curve fallen. Die nach unten gewendete Höhlung der Curve bedeutet hier einen beschleunigten, die abwärts gewendete Convexität einen verlangsamten Abfall.

Wenn also z. B. die Zuckungscurve eines Muskels, nachdem sie ihren Gipfelpunkt erreicht hat, anfangs concav, später convex zur Nulllinie absinkt, so bedeutet dies, dass der Muskel zuerst mit beschleunigter, dann mit verlangsamter Geschwindigkeit erschlafft sei.

Eine krumme Linie kann so gut wie eine Gerade steiler oder weniger steil ansteigen und abfallen. Je steiler der Anstieg, desto schneller

wächst die Function, je steiler der Abfall, desto schneller nimmt sie ab. Hier gilt natürlich gleichfalls die obige Beschränkung.

Auch der Grad der Krümmung einer Curve kann von Bedeutung sein. Man ermittelt denselben durch Construction des sogenannten Krümmungskreises, d. h. desjenigen Kreises, der von allen am genauesten der Curvenkrümmung sich anschliesst. Die letztere wird dann gemessen durch den Radius des Krümmungskreises; je grösser derselbe desto geringer, je kleiner desto stärker ist die Krümmung der Curve.

Nähert sich eine Curve, indem ihre Ordinaten wachsen oder abnehmen, immer mehr einer neben ihr verlaufenden geraden Linie, ohne sie jemals zu erreichen, so heisst diese Linie eine Asymptote der Curve. Bei graphischen Darstellungen erfährt man durch die gewonnene Curve nicht selten, dass die Function sich einem gewissen Werthe asymptotisch anschliesst, d. h. dass sie ihm zustrebt, aber ihn niemals erreicht. Dieser Werth kann der Nullwerth sein; die zur Curve gehörige Asymptote ist in diesem Falle die Abscissenaxe.

Wenn eine Curve erst steigt und dann sinkt, so besitzt sie zwischen beiden Phasen ein Maximum oder einen Gipfelpunkt; sinkt sie erst, um dann zu steigen, so ist die Uebergangsstelle ein Minimum. Wiederholt sich Steigen und Fallen häufiger, so sind mehrere Gipfel oder mehrere Minima der Curve vorhanden. Jedes Maximum zeigt an, wo die Function einen höchsten, jedes Minimum, wo sie einen kleinsten Werth erreicht hat. Das höchste Maximum und das tiefste Minimum kann man als absolutes Maximum und Minimum bezeichnen.

Die Curve kann ferner in ihrem Laufe ein oder mehrere Male die Abscissenaxe schneiden. An solchen Stellen wird der Werth der Function gleich Null. Die Curve kann auch ein Strecke weit parallel zur Abscissenaxe verlaufen. Die untersuchte Bewegung ist in diesem Falle in einer gewissen Gleichgewichtslage zur Ruhe gekommen.

Geht eine Curve aus einer convexen Krümmung in eine concave über oder umgekehrt, findet also ein Krümmungswechsel statt, so bezeichnet man diese Stelle als einen Wendepunkt. Durch die Wendepunkte, Maxima und Minima und Durchschnittspunkte ist die Gestalt der Curven charakterisirt.[1])

---

[1]) Am besten belehrt über die Richtung und Krümmung der Curven die Untersuchung des Differentialquotienten.

Legt man an irgend eine Stelle einer Curvenlinie eine Berührungslinie und verlängert diese bis zum Durchschnitt mit der Abscissenaxe, so liefert die trigonometrische Tangente des von beiden Linien gebildeten Winkels den Differentialquotienten, $\tan \alpha = \frac{dy}{dx}$.

Zweites Capitel.

Ausmessung der Curven.

Graphische Aufzeichnungen sollen nicht nur ein anschauliches Bild des dargestellten Vorganges geben, sondern sie müssen auch zu Messungen benutzt werden. Vor allem wünscht man, die Beziehungen der durch die Curven ausgedrückten Bewegungen zur Zeit zahlengemäss feststellen zu können. Man will wissen, wie lange Zeit eine Muskelzuckung in Anspruch genommen hat, wie viel davon auf den Vorgang der Zusammenziehung, wie viel auf den der Erschlaffung kommt. Bei der Aufzeichung rhythmischer Bewegungen

---

Ist tang α positiv, so steigt die Curve, ist er negativ, so fällt sie (Fig. 70.)



Fig. 70.

Aendert der Differentialquotient sein Vorzeichen, indem er durch den Werth 0 oder ∞ hindurchgeht, so hat die Curve an dieser Stelle ein Maximum oder ein Minimum.

Bildet man den Differentialquotienten für eine Anzahl von aufeinander folgenden Punkten der Curve, so ermittelt man, ob er wächst oder kleiner wird. Ist das erstere der Fall (Fig. 71), so ist die Curve convex nach unten, trifft das letztere zu (Fig. 72), so ist sie concav nach unten.


Fig. 71.


Fig. 72.

Dies gilt für steigende wie für fallende Curven.

Bei der geraden Linie wird der Differentialquotient zum Tangens desjenigen Winkels, welchen sie selbst oder ihre Verlängerung mit der Abscissenaxe bildet. Sein Werth bleibt für alle Theile der Linie ungeändert.

Aus den ermittelten Differentialquotienten kann man eine zweite Curve ableiten. Der für diese gebildete Differentialquotient ist der zweite Differentialquotient der ursprünglichen Curve.

Wächst der erste Differentialquotient, so ist der zweite positiv, nimmt er ab, so ist der zweite negativ. Dem positiven zweiten Differentialquotienten entspricht also eine nach unten gewölbte, dem negativen eine nach unten hohle Curve.

will man durch die graphische Darstellung erfahren, wie schnell oder wie langsam der Rhythmus war, z. B. wie viel Athmungen oder Herzschläge in einer bestimmten Zeit ausgeführt worden sind.

Man wird ferner den Wunsch haben, die absolute Grösse der ausgeführten Bewegung und deren Veränderungen in der Zeit aus der Aufzeichnung kennen zu lernen; man wünscht zu erfahren, wie stark unter den gesetzten Bedingungen eine Muskelzuckung ausfiel, wie tief ein Thier athmete, welche Höhe der Blutdruck hatte, welcher Art und wie gross die Schwankungen waren, die er unter dem Einfluss jedes Herzschlages, jeder Athmung, irgend einer künstlich eingeführten Bedingung erfahren hat.

Sind mehrere Curven zu gleicher Zeit unter einander an die Registrirfläche angeschrieben worden, so ist es nicht selten nothwendig zu wissen, welche zeitlichen Beziehungen die Maxima und Minima der einen Curve zu denen der anderen haben, ob ihre Gipfelpunkte oder gewisse secundäre Erhebungen mit einander coincidiren oder zeitlich auseinander fallen. Ebenso wünscht man bei der Verwerthung von Signalen, die man unter einer Curve angegeben hat, den Punkt der Curve zu kennen, welcher dem Signalmoment entspricht. Eine gute graphische Aufzeichnung soll eine präcise Beantwortung aller derartiger Fragen ermöglichen.

I. Ausmessung der Abscissen.

Was zunächst die Ermittlung der Zeitverhältnisse der graphisch dargestellten Erscheinung anlangt, so ist es dafür nothwendig, den Zeitwerth der Abscissen zu kennen, über welche die Curve geschrieben ist. Man thut gut, bei allen Registrirungen die zugehörige Abscissenaxe, d. h. die in der Ruhelage der Schreibspitze von ihr auf den bewegten Cylinder gezeichnete Linie, aufzuschreiben. Das kann geschehen, bevor die Curvenzeichnung beginnt. Zu diesem Zwecke bringt man den Schreibapparat in diejenige Stellung, die als Ausgangsstellung für seine Bewegungen dienen soll, und dreht die Trommel mit der Hand einmal herum oder schiebt die zur Registrirung dienende Platte einmal vorbei. Dasselbe kann auch nach geschehener Aufzeichnung ausgeführt werden. Bei gewissen Untersuchungen kann es zweckmässig sein, während der Aufzeichnung durch eine eigene Vorrichtung die Höhe der Abscisse fortlaufend anschreiben zu lassen. Besonders bei Blutdruckversuchen ist dieses Verfahren mit Recht vielfach üblich. Der schreibende Apparat muss dann ausser dem den Veränderungen des Druckes folgenden Schreibstift einen zweiten besitzen, der am Beginn des Versuches auf

die Ruhelage eingestellt und in ihr während der Dauer der Registrirung verbleibend das ihr entsprechende Niveau markirt.

Auf der Abscissenaxe oder auch auf einer parallel zu ihr gezogenen Linie kann man die ihren Theilen proportionalen Zeitwerthe abtragen. Zu diesem Behuf muss man die Geschwindigkeit der bewegten Fläche kennen. Wie man zu dieser Kenntnis gelangt, soll in einem späteren Abschnitt auseinander gesetzt werden.

Der einfachste Fall ist hier der, dass die Registrirfläche sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegt hat. Gleiche Abschnitte der Abscissenaxe entsprechen hier gleichen Zeiträumen. Man hat dann die Abscisse einfach in gleiche Theile zu theilen, deren jeder, je nach der benutzten Geschwindigkeit, eine Secunde oder eine zehntel, eine hundertstel u. s. w. Secunde repräsentirt.

Die zeitliche Auswerthung der Curve und ihrer einzelnen Theile ist dann leicht. In Fig. 73 sei *m* die Zuckungscurve eines Muskels. Die Abtheilungen der Abscisse mögen hundertstel Secunden entsprechen. Zählt man die in das Bereich der Curve fallenden, d. h.

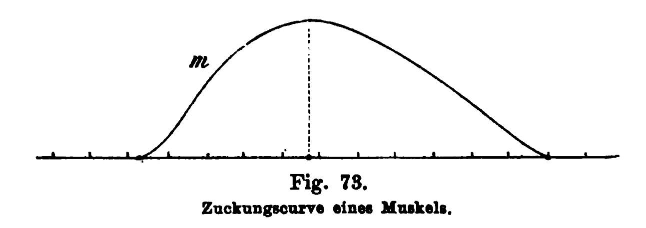


Fig. 73.
Zuckungscurve eines Muskels.

von ihrem Anfangs- und von ihrem Endpunkt eingeschlossenen Theilstriche und zieht man nöthigenfalls auch kleinere Bruchtheile der Abscisse in Rechnung, so erhält man die Zeit der Zuckungsdauer. Sie wäre für die hier dargestellte Curve = 10·7 Theilstrichen also = 0·107 Sec.

Zu genauen Messungen kann es hier oft nöthig werden, das Mikroskop zu Hilfe zu nehmen, in dessen Ocular ein Glasmikrometer mit einer für die Anwendung einer bestimmten Objectivvergrösserung berechneten Theilung eingeschaltet wird.

Nicht selten macht die Erkennung desjenigen Punktes Mühe, an welchem die Curve sich gerade von der Abscisse abzuwickeln beginnt, also des A n f a n g s p u n k t e s d e r C u r v e. Bei Muskelzuckungen ist das oft der Fall, wenn man dieselben bei grosser Geschwindigkeit der bewegten Fläche gezeichnet hat. Nach H e r m a n n kann man sich diese Ermittelung dadurch erleichtern, dass man vor der Zuckung keine Abscisse zeichnen lässt, sondern erst nach derselben zwei Parallele, die eine etwas höher, die andere etwas tiefer als die eigentliche Ver-

suchsabscisse, anschreibt. Man hat dann denjenigen Punkt aufzusuchen, in welchem die Curve ihr Abstandsverhältnis zwischen den beiden Geraden zu ändern beginnt. Fig. 74 stellt eine solche Construction dar. Man sieht, dass dadurch eine recht scharfe Feststellung des Anfangspunktes möglich wird.

Zuweilen liefert der Versuch zwei Curven, die, über derselben Abscisse gezeichnet, um ein Geringes parallel zu einander verschoben erscheinen. Man kann in solchen Fällen den Wunsch haben, den horizontalen Abstand der Fusspunkte der beiden Curven zu ermitteln.

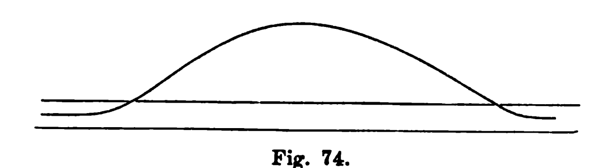


Fig. 74.

Da, wie eben erwähnt, diese Fusspunkte manches Mal sich schwer feststellen lassen, kann man sich, falls die beiden Curven congruent sind, dadurch helfen, dass man in beliebiger Höhe eine Parallele zur Abscissenaxe zieht, und den horizontalen Abstand der beiden Punkte ausmisst, in welchen die aufsteigenden Theile der Curven von diesen Linien geschnitten werden.

Fig. 75.

Zu diesem Mittel greift man gern, wenn man die Fortleitungsgeschwindigkeit der Erregung im Nerven nach der myographischen Methode von Helmholtz bestimmt. Man erhält hier zwei congruente Muskelcurven m^1 und m^2, deren Entfernung von einander s^1 s^2 das Maass für die gesuchte Leitungszeit abgibt. (Fig. 75.)

Will man den zeitlichen Abstand zweier Punkte einer Curve ermitteln, so fällt man von ihnen Lothe auf die Nulllinie, und bestimmt den Zeitwerth des von diesen eingeschlossenen Abscissenantheils. Fällt der eine der beiden Punkte in die Abscissenlinie, so zieht man nur eine Ordinate. So hätte man, um in Fig. 73 die Entfernung des Curvengipfels vom Anfangs- und vom Endpunkt der Curve kennen zu lernen, nur eine Senkrechte vom Gipfel auf die Abscisse zu fällen. Man erkennt alsdann ohne Weiteres, dass von der ganzen, auf 0·107 Sec. berechneten Zuckungsdauer 0·044 Sec. auf das Stadium des Ansteigens und 0·063 Sec. auf das des Sinkens kommen.

Dieses Verfahren ist nur dann anwendbar, wenn sich die zu messende Curve auf geradlinige, rechtwinklige Coordinaten beziehen lässt. Ist das nicht der Fall, hat man beispielsweise tangential schreibende Hebel benutzt, deren Ausschläge nicht geradlinig, sondern bogenförmig sind, so ist die Ermittelung der den einzelnen Curvenpunkten zugehörigen Abscissenpunkte nicht so einfach. (S. Cap. III.)

Um die Frequenz rhythmischer Vorgänge, die man graphisch dargestellt hat, zu ermitteln, verfährt man ähnlich, wie in den bisher behandelten Fällen. In Fig. 76 sind die Athembewegungen eines Thieres dargestellt. Man zeichnet, falls die Nulllinie nicht angeschrieben wurde, unter diese Curve eine arbiträre Abscissenaxe, die man mit der entsprechenden Zeittheilung versieht. Statt dessen kann man sich eines zugleich mit der Curve aufgeschriebenen Chronogrammes (vgl. den von der Zeitschreibung handelnden Abschnitt) bedienen. Nun fällt man von dem Anfangspunkt einer der Curven ein Loth auf diese Abscissenlinie, geht dann um eine Anzahl von Einzelathmungen weiter, und fällt, wieder aus einem Anfangspunkt, ein zweites Loth. Je genauer man rechnen will, desto mehr Einzelathmungen wird man zwischen die beiden Senkrechten nehmen.

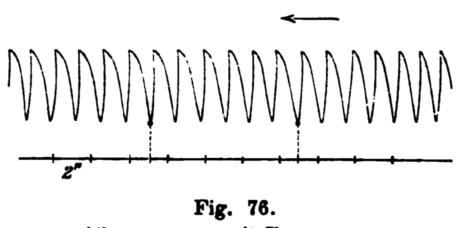


Fig. 76.
Athmungscurven mit Chronogramm.

Bestimmt man dann die Zahl derselben und berechnet man den zeitlichen Abstand der Lothe auf der Abscisse, so findet man für n Athmungen einen Werth von m Secunden. Daraus ist die Minutenfrequenz leicht zu ermitteln und für die Dauer einer jeden Einzelathmung ergibt sich der Werth $\frac{m}{n}$ Sec. In Fig. 76, in welcher die Abscissentheile Doppelsecunden darstellen, entsprechen 6 Athmungen ungefähr 8 Sec.; in einer Minute wurden folglich 45 Athembewegungen ausgeführt, und jede einzelne Respiration dauerte $1\frac{1}{3}$ Sec.

II. Messung der Ordinaten und Flächenbestimmungen.

Die Ausmessung der Ordinaten belehrt über die Grösse einer aufgezeichneten Bewegung in einem einzelnen Moment oder in verschiedenen Stadien ihres zeitlichen Ablaufs.

Kommt es nur darauf an, die Maximal-Ordinate zu kennen, also die grösste Ablenkung aus der Ruhelage, welche der Schreibstift

erfahren hat, so bedarf man der gewöhnlichen Art der graphischen Darstellung überhaupt nicht. Man hat hier nur nöthig, die Schreibspitze an die ruhende Schreibfläche anzulehnen, den Vorgang sich abspielen zu lassen und für die jedesmalige Aufzeichnung des sich wiederholenden Vorganges die Fläche um ein wenig zu verschieben. Man erhält dann Reihen von Senkrechten, von denen eine jede das Maximum der ausgeführten Bewegung angibt. Für die Untersuchung gewisser Erscheinungen beim Muskel kann diese mit der Schreibfläche sehr sparsam umgehende Methode gute Dienste leisten. Das Pflüger'sche Myographion (s. Spec. Theil, Abschnitt VI) ist eine Vorrichtung, die solchen Zwecken dient. Die Aufzeichnung in Fig. 77 ist vermittelst dieses Apparates gemacht. Sie stellt den Einfluss der Belastung auf die Zuckungsgrösse eines Muskels in sehr übersichtlicher Weise dar. Die abnehmenden Hubhöhen entsprechen wachsenden Lasten.

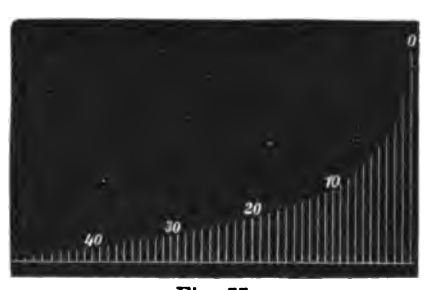


Fig. 77.
Zuckungshöhen eines Muskels bei wachsender Belastung. (nach Hermann).

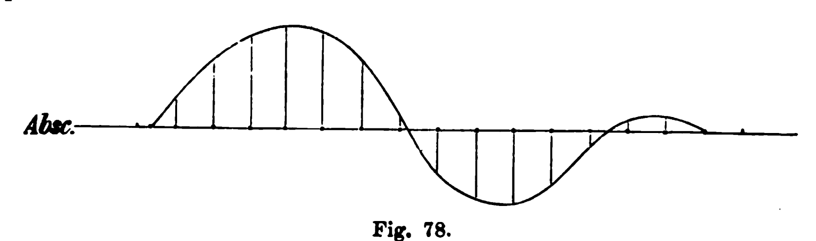


Fig. 78.

Will man die wahren Verkürzungen des Muskels aus diesen Maximalordinaten berechnen, so hat man die erhaltenen Werthe durch die Hebelvergrösserung zu dividiren.

Sind wirkliche Curvenzeichnungen gemacht worden, so hat, falls dieselben auf ein rechtwinkliges Coordinatensystem bezogen werden können, die Messung einer beliebigen Anzahl von Ordinaten keine Schwierigkeit. Man fällt von den betreffenden Stellen der Curve Lothe auf die Abscissenaxe und misst diese aus. Die Messung kann bei gröberen Untersuchungen vermittelst eines richtig getheilten Massstabes vorgenommen werden, bei feineren muss man die Hilfe des Mikroskops in Anspruch nehmen. Als positiv bezeichnet man in der Regel solche Ordinaten, die sich über die Abscissenaxe erheben, als negativ solche, die von ihr nach unten gehen. (vgl. Fig. 78.)

Sind die Aufzeichnungen auf sogenanntes Coordinatenpapier gemacht worden, so ist dadurch die Messung der Ordinaten und die Eintheilung der Abscissenaxe natürlich erleichtert. Früher war die Benutzung eines derartigen Papiers, besonders auch für die Aufschreibung des Blutdruckes (s. Fig. 79) vielfach üblich. Sie würde auch heute noch in manchen Fällen ihre Vortheile haben.

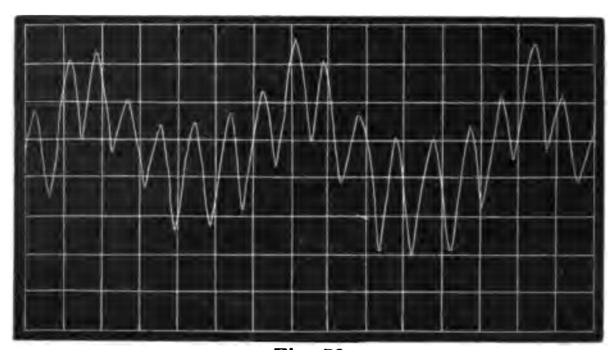


Fig. 79.
Blutdruckcurve eines Hundes.

Die Zahl der zu bestimmenden Ordinaten richtet sich in den einzelnen Fällen nach der Absicht, in welcher man solche Messungen überhaupt vornimmt. In sehr vielen Fällen wünscht man nur eine genauere Kenntnis der grössten Ablenkung des Schreibhebels zu erhalten, braucht aber die Aufschreibung vollständiger Curven zu anderweitigen Bestimmungen. Hier misst man in jeder Curve nur eine, die grösste Ordinate. Andere Male kann man sich auf die Messung von zwei Ordinaten beschränken. Das ist z. B. der Fall, wenn man die Grösse zweier Maxima der Curve mit einander vergleichen will.

Bei noch anderen Untersuchungen bedarf man dagegen der Bestimmung zahlreicher äquidistanter Ordinaten. Dieser Fall tritt z. B. ein, wenn man complicirte Klangcurven nach der Fourier'schen Reihe zerlegen d. h. in einfache Sinuscurven auflösen will. Je weniger einfach die Curvenform ist, desto grösser muss die Zahl der zu bestimmenden Ordinatenwerthe sein. Es müssen im allgemeinen so viel Ordinaten gemessen werden, dass das zwischen zwei benachbarten gelegene Stück der Curve als geradlinig angesehen werden kann. Für Vocalklangcurven ist nach Hensen das Mindeste die Berechnung von 36 Ordinaten in jeder Curve; Hermann fand bei seinen phonophotographischen Untersuchungen 40 Messungen nöthig.

Es liegt auf der Hand, dass Messungen dieser Art, besonders wenn die Curvenzeichnungen klein sind, nicht mit gewöhnlichen Hilfs-

mitteln ausgeführt werden können. Vor allem muss das Mikroskop verwendet werden. Man schliesst das zu untersuchende Curvenstück falls es auf Papier gezeichnet ist, am besten zwischen zwei Glasplatten ein, und untersucht bei schwacher Vergrösserung mit Objectiven von so grossem Focalabstand, dass man zur Beleuchtung auffallendes Licht verwenden kann. Auf Glastafeln geschriebene Curven werden einfach auf den Objecttisch gelegt und bei durchfallendem Licht untersucht.

Zur Messung kann ein Ocularmikrometer dienen, dessen Theilung mit Hilfe eines Normalobjectivmikrometers genau ausgewerthet ist. Besser ist die Benutzung eines mikrometrischen Objecttisches. Eine solche Vorrichtung soll durch eine Mikrometerschraube genau messbare Verschiebungen des Objectes in der Abscissenrichtung erlauben, so dass man in der Lage ist, die Abscissenaxe in kleine gleiche Theile zu theilen; ausserdem muss der Apparat eine zweite Mikrometerschraube besitzen, durch welche messbare Verschiebungen in der zur Abscisse senkrechten Richtung, also genaue Ordinatenbestimmungen ermöglicht werden. Im Ocular des Mikroskops muss sich ein Fadenkreuz befinden. [1])

In anderen Fällen kann man den Wunsch haben, die mittlere Ordinatenhöhe einer Curvenzeichnung festzustellen. Für Curven einfacher Gestalt genügt dann die Ausmessung einer gewissen Anzahl von Ordinaten. Die gewonnenen Werthe werden summirt, die Summe durch die Zahl der Bestimmungen dividirt. So erhält man die Mittelhöhe. Je complicirter die Curve ist, desto grösser muss die Zahl der auszuführenden Messungen werden. Insbesondere dürfen auch hier merkliche Zacken u. dgl. zwischen zwei benachbarten Ordinaten sich nicht finden.

Für gewisse Aufzeichnungen ist jedoch dieses Verfahren schlechterdings unmöglich. So z. B. bei den am Kymographion aufgenom-

---

[1]) In Betreff näherer Angaben über derartige Instrumente sei auf die Handbücher der Mikroskopie verwiesen.

Vor Kurzem hat Jaquet einen Apparat angegeben, der sich als Hilfsmittel gerade bei physiologischen Curvenmessungen sehr empfehlen dürfte. Sein Curvenanalysator, welchen die Runne'sche Werkstätte in Basel liefert, erlaubt die Ausmessung von Abscissen und Ordinaten in der Weise, dass ein mit Fadenkreuz versehenes Mikroskop durch grobe und durch mikrometrische Verstellung um genau messbare Werthe der Abscisse verschoben wird oder den einzelnen Ordinaten entlang gleitet. Ein besonderer Vorzug dieses Instrumentes besteht darin, dass es die Ausmessung von Curven bis zu einer Länge von 25 *cm* bei einer Höhe von 15 *cm* erlaubt. Für ganz feine Bestimmungen dürfte es aber doch wohl nicht ausreichen.

Ähnliche, zum Theil sehr kostbare Instrumente benutzen auch die Physiker und die Astronomen.

menen Blutdruckcurven mit ihren zahlreichen von der Athmung und von den Herzpulsen herrührenden Wellen. Um hier für einen gewissen Abschnitt die Mittelordinate, also den mittleren Blutdruck, zu berechnen, muss man zu Flächenmessungen seine Zuflucht nehmen. Fällt man (in Fig. 80) von der Blutdruckcurve *B* aus auf die Abscissenaxe zwei Lothe *aa'* und *bb'*, die das in Betracht zu ziehende Curvenstück einschliessen, so ist dadurch ein Flächenraum abgegrenzt, der unten und an den beiden Seiten von geraden Linien, oben durch die Curvenlinie begrenzt ist. Diese Fläche soll gemessen werden. Wüsste man nämlich ihre Grösse, so hätte man, um die gesuchte mittlere Erhebung der Curve über die Abscisse kennen zu lernen, nur nöthig, über dem abgegrenzten Stück der Abscissenaxe ein Rechteck zu errichten, welches denselben Flächeninhalt besitzt, wie jene unregelmässig begrenzte Fläche. Die Höhe desselben wäre dann der gesuchte Mittelwerth.

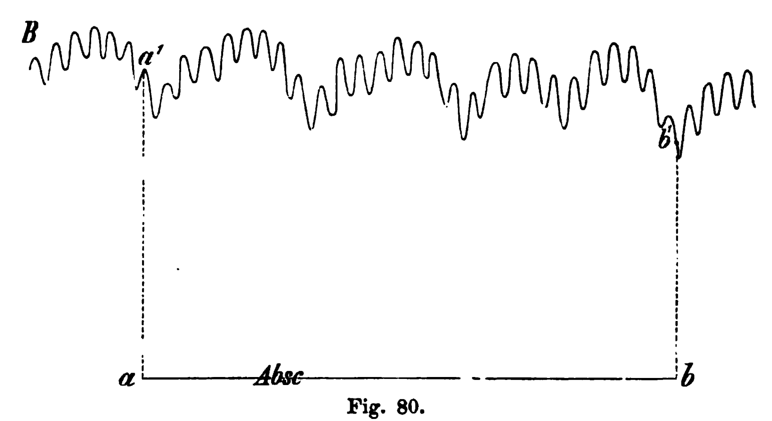


Fig. 80.
Blutdruckcurve vom Hunde. (Die Null-Linie ist der Curve übertrieben genähert.)

Hat man auf Millimeterpapier gezeichnet, so ist ein solcher Flächenraum, etwas mühsam zwar, aber mit einiger Genauigkeit durch Auszählung der kleinen Quadrate zu bestimmen. Weit bequemer und dazu noch ungleich exacter wird die Bestimmung vorgenommen mit Hilfe des sinnreich erdachten Planimeters von Amsler. Hier kann auf die Theorie und die Gebrauchsweise dieses höchst werthvollen Instrumentes nicht eingegangen werden. Es sei dieserhalb auf die älteren Auflagen von Fick's medicinischer Physik verwiesen, in denen man dasselbe beschrieben findet.

Th. Young schlug folgendes Verfahren zur Messung einer beliebig begrenzten Fläche ein. Er schnitt dieselbe aus gleichmässigem

Papier aus, wog sie und verfuhr dann ebenso mit einem aus demselben Papier geschnittenen Quadrat von gemessenen Seiten. Die Gewichte verhalten sich alsdann wie die Inhalte der beiden Flächen. Ist p das Gewicht des unregelmässig begrenzten Papiers, f der gesuchte Flächeninhalt desselben, p' das Gewicht und f' die Fläche des ausgeschnittenen Quadrats, so findet man

$$f = \frac{f' \cdot p}{p'}.$$

Ähnlich verfuhr Volkmann zur Bestimmung des mittleren Blutdruckes. Er zeichnete die Blutdruckcurve und die zugehörige Abscisse auf Briefpapier von gleichmässiger Dicke.

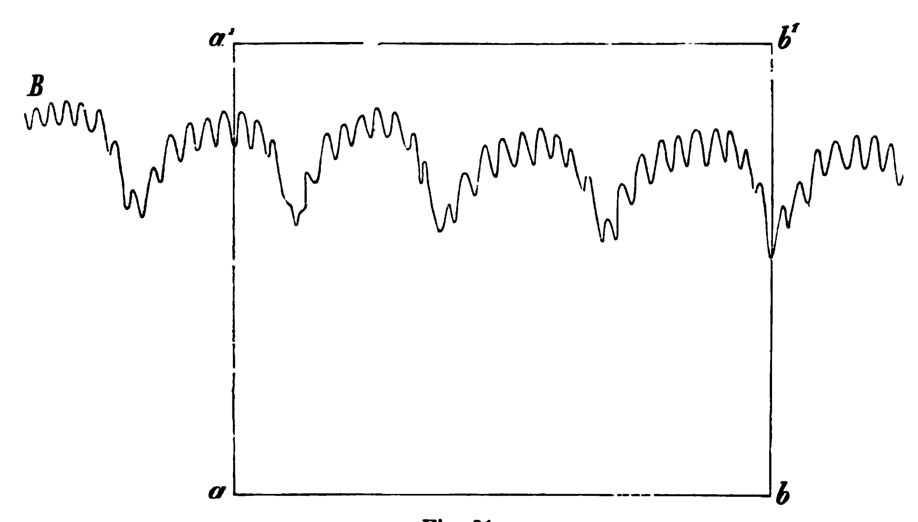


Fig. 81.
Volkmann's Verfahren zur Bestimmung der mittleren Blutdruckhöhe.

Darauf zog er über der Curve (B in Fig. 81) eine Parallele zur Abscisse und verband die beiden Parallelen durch die Senkrechten aa' und bb'. Die Höhe des so begrenzten Rechteckes ($aa'\,bb'$) sei $= H$. Dieses Rechteck wird ausgeschnitten und gewogen; das Gewicht sei $= G$. Dann wird mit einer feinen Scheere die Curve genau ausgeschnitten und das von ihr und der Abscisse eingeschlossene Stück des Papiers ebenfalls gewogen. Nennt man das Gewicht desselben g, und seine mittlere Höhe (die gesuchte Mittelordinate des Blutdruckes) h, so verhält sich offenbar $h : H = g : G$, demnach ist

$$h = \frac{H \cdot g}{G}.$$

Dieses Verfahren gibt recht zuverlässige Resultate, wenn man nur darauf achtet, dass das benutzte Papier vollständig gleichmässig ist.

Auch um ihrer selbst willen kann die Messung durch Curven begrenzter Flächen vorkommen. Man habe beispielsweise die Athembewegungen eines Kaninchens (etwa vermittelst eines Zwerchfellschreibers) aufgezeichnet. Während der Aufzeichnung ist der N. vagus beiderseits durchschnitten worden; die Athmung ist dadurch langsamer und tiefer geworden. Man will nun untersuchen, ob die Athmung nach der Nervendurchschneidung an Tiefe ebenso viel gewonnen, wie sie an Frequenz verloren hat, d. h. ob gegenüber der vorher gezeichneten Curve die Athemanstrengung constant geblieben ist oder nicht. Zu diesem Zweck kann man, wie das Rosenthal that, die Flächen ausmessen, welche innerhalb gleich grosser Abscissenlängen gelegenen Curvenstücken entsprechen. Wären die vor der Vagusdurchschneidung und die nach derselben umschriebenen Flächen einander gleich, so würde dies bedeuten, dass die Athemanstrengung durch die Operation in ihrer Grösse nicht verändert, sondern nur anders vertheilt worden ist.

Probleme dieser Art sind aber bei physiologischen Untersuchungen im Ganzen selten.

III. Aufsuchung synchroner Punkte.

Abgesehen von der eigentlichen Ausmessung der Curven ist eine häufig sich darbietende Aufgabe die Aufsuchung synchroner Punkte mehrerer gleichzeitig gezeichneter Curven.

Schon oben wurde bemerkt, dass man, wenn mehrere Zeichnungen zu gleicher Zeit zu machen sind, am besten thut, den Schreibvorrichtungen eine solche Stellung zu geben, dass ihre zeichnenden Spitzen genau vertical übereinander zu stehen kommen. Es wurde auch gezeigt, dass man bei sorgfältig gearbeiteten Schreibapparaten diese Forderung leicht erfüllen kann, besonders wenn es sich um nicht mehr als zwei gleichzeitig thätige handelt.

Für diesen Fall sind — bei Benutzung rechtwinkliger Coordinaten — senkrecht unter oder über einander gelegene Punkte der betreffenden Curven zu einander synchron. Die einander entsprechenden Punkte mehrerer Aufzeichnungen springen besonders dann in die Augen, wenn man auf Millimeterpapier gezeichnet hat. Die in Fig. 82 mitgetheilte Aufzeichnung dürfte dies trefflich illustriren. Hier wurde der in den verschiedenen Herzhöhlen gleichzeitig herrschende Druck aufgezeichnet; die oberste Curve gehört dem rechten Vorhof, die mittlere dem rech-

ten, die unterste dem linken Ventrikel an. Die zeitlich zusammengehörigen Punkte der drei Curven lassen sich hier auf den ersten Blick erkennen.

Hat man dagegen für ein genaues Übereinanderstellen der Schreibspitzen nicht sorgen wollen oder können, so thut man gut, die Horizontaldistanz derselben vor oder nach dem Versuch dadurch zu bestimmen, dass man bei ruhender Trommel die betreffenden Schreib-

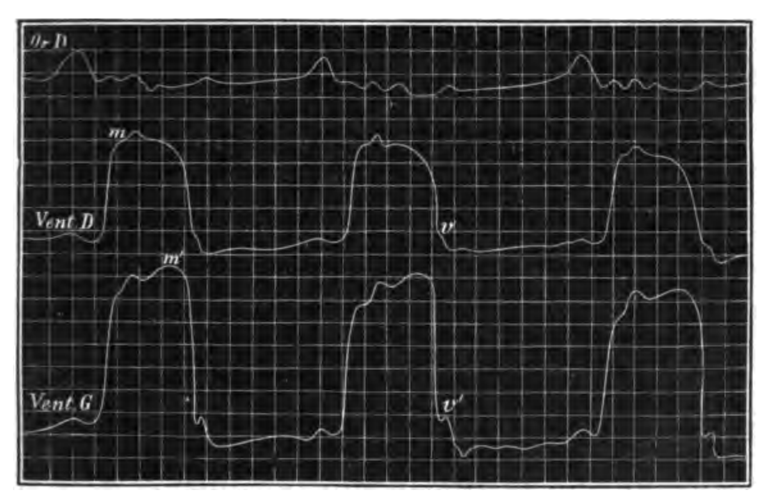


Fig. 82.
Aufzeichnung des intracardialen Druckes. (Nach Chauveau und Marey.)

hebel je einen Ausschlag machen lässt. Die horizontale Entfernung dieser Zeichen von einander gibt die Strecke an, um welche die einzelnen Punkte der einen Curve gegen die gleichzeitigen der anderen verschoben sind. Will man dann synchrone Punkte aufsuchen, so hat man diese Distanz in Rechnung zu ziehen.

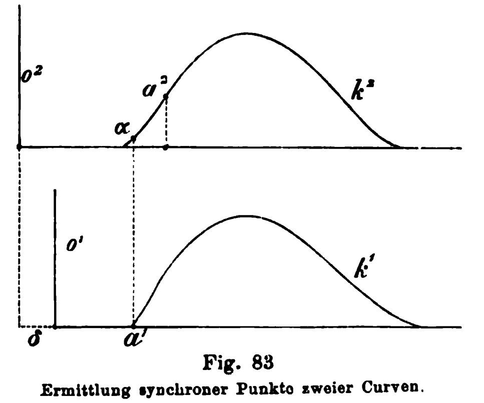


Fig. 83
Ermittlung synchroner Punkte zweier Curven.

In Fig. 83 sind k^1 und k^2 zwei Curven, denen die Anfangsordinaten o^1 und o^2 zugehören. Der Abstand derselben sei gleich δ. Sucht man zu dem Anfangspunkt der Curve k^1, der mit a^1 bezeichnet sein mag, den zugehörigen Punkt von k^2, so ist dies nicht der vertical

darüber liegende Punkt a, sondern ein Punkt, den man findet, wenn man das von a^1 gefällte Loth auf der Abscisse von k^2 um die Strecke δ nach rechts verschiebt und den Schnittpunkt dieser verschobenen Verticalen mit k^2 aufsucht. Der ist hier a^2.

Man kann statt dessen auch das weit einfachere und sehr genaue Merkzeichen-Verfahren anwenden, dessen im nächstfolgenden Capitel Erwähnung geschehen soll.

Sind elektrische oder anderweitige Signale unter einer Curve verzeichnet, so lernt man dasjenige Stadium des aufgeschriebenen Vorganges, in welches das Signal fällt, kennen, wenn man von der Signalmarke aus eine zur Abscisse Senkrechte nach der Curve zieht. Stand die Spitze des Signalschreibers nicht genau unter der des anderen Schreibapparates, so ist dies, wie oben, zu berücksichtigen.

Drittes Capitel.

Correction der Curven.

Sind Aufzeichnungen mit Schreibfedern gemacht worden, die seitlich (tangential), nicht mit Stirnschreibung zeichnen, so entsprechen dieselben nicht geradlinigen Coordinaten, sondern ihre Ordinatenaxe ist ein Bogen, der die Länge des Schreibhebels zum Radius hat. Solche Curven können nicht einfach so behandelt werden, wie das in den vorangehenden Abschnitten gelehrt wurde; sie lassen sich aber corrigiren und dadurch auf ein rechtwinkeliges Coordinatensystem zurückführen. Nicht immer freilich ist, selbst bei messenden Versuchen, eine Correction nöthig; so hat Rollett gezeigt, dass für myographische Aufzeichnungen, die mittelst eines Marey'schen Schreibhebels aufgenommen werden, die von den einzelnen Punkten der Zuckungscurve auf die Abscisse gefällten Senkrechten ohne Weiteres den Verkürzungsgrössen des Muskels entsprechen, dass man für diesen Fall also bei der Ordinatenmessung so verfahren darf, als ob man es mit geradlinigen Ordinaten zu thun hätte.

Wollte man dagegen die den einzelnen Zuckungshöhen entsprechenden Zeitpunkte auf der Abscisse feststellen, so müsste hier wie anderwärts eine Correction ausgeführt werden. Marey verfährt zu diesem Behuf folgendermassen.

Ist die ausgezogene Curve in Fig. 84 die zu corrigirende, so errichtet man zunächst im Anfangspunkt derselben oder neben ihm ein Loth OO, nimmt alsdann die Länge des schreibenden Hebels in den Zirkel und

schlägt mit ihr als Radius einen durch den Fusspunkt des Lothes gehenden Kreis, indem man die eine Zirkelspitze in der Verlängerung der Abscissenaxe aufsetzt. Der dadurch neben OO geschriebene Bogen ist die wahre Ordinatenaxe der Curve. Sodann wird eine Schaar von Parallelen zur Abscissenaxe gezogen, von denen eine jede die senkrechte und die bogenförmige Ordinatenaxe schneidet und ausserdem durch zwei Punkte der Curve hindurchgeht. Für jede Höhe ist jetzt die Grösse, um welche die Curve verschoben werden muss, damit sie der Axe OO entspreche, gegeben in der entsprechenden Abweichung der Bogenordinate von der senkrechten. Und zwar ist überall die Verschiebung nach links vorzunehmen. Wie man sieht, ist dies in der Figur geschehen; die corrigirte Lage für eine ganze Anzahl von Curvenpunkten ist auf diese Weise gefunden. Verbindet man die gewonnenen Punkte mit einander (punktirte Linie in der Figur), so erhält man die Gestalt der corrigirten Curve, deren einzelnen Punkten nunmehr die senkrecht darunter gelegenen Punkte der Abscisse genau entsprechen.

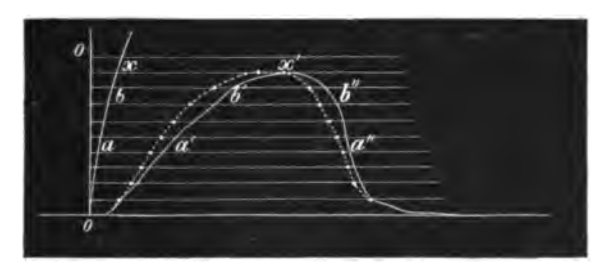


Fig. 84.
Correction einer Muskelcurve (nach Marey).

Anstatt durch Construction kann man, wie Rollett gezeigt hat, die richtigen Abscissenpunkte auch durch Rechnung finden.

Streng genommen ist das Marey'sche Verfahren nur dann genau richtig, wenn die Schreibspitze auf eine ebene Fläche gezeichnet hat; denn bei der Benutzung eines Cylinders müsste auch noch der durch die Krümmung der Schreibfläche entstehende Fehler der Curven (s. o.) in Betracht gezogen werden. Man verfährt deshalb besser so, dass man die Aufzeichnung der Ordinatenaxen bereits vornimmt, während der geschwärzte Mantel den Cylinder noch bekleidet. Zu diesem Zwecke bringt man, nachdem man die Abscisse gezeichnet hat, die Schreibspitze in den Fusspunkt der Curve, senkt alsdann die Trommel um ein gewisses Stück und führt sie wieder zurück. Dadurch hat man die geradlinige Ordinate gezeichnet. Lässt man nunmehr den Hebel eine Excursion machen von der Höhe der grössten vorgekom-

menen Ausschläge, so ist damit eine Bogenordinate gewonnen, die auch der Cylinderkrümmung Rechnung trägt. Am besten zeichnet man, ehe das Papier abgenommen wird, auch noch die Parallelen zur Abscisse ein, deren Zahl natürlich um so grösser sein muss, je complicirter die Curve gestaltet ist. Jedem Wendepunkt der Curve muss, wie das Fig. 85, die nach dem angegebenen Verfahren gezeichnet ist, angibt, eine eigene Parallele entsprechen. Im Uebrigen verfährt man, wie oben geschildert ward.

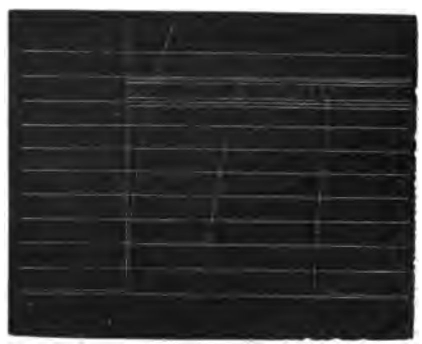


Fig. 85.

In den meisten Fällen wird man nicht nöthig haben, wegen der Bogenabweichung die Correction der ganzen Curve vorzunehmen; vielmehr wird man sich damit begnügen können, für einzelne Punkte von besonderer Wichtigkeit die entsprechenden Abscissenpunkte aufzusuchen.

Dies geschieht in folgender Weise: Sind in Fig. 86 *a*, *b*, *c* diejenigen ausgezeichneten Punkte der Curve, auf die es ankommt, so stellt man zuerst den Cylinder so ein, dass die Spitze des Schreibhebels bei einem von ihm gemachten Ausschlag durch den Punkt *a* und durch die Abscissenaxe hindurchgeht. Dann behandelt man ebenso die Punkte *b*, *c* u. s. f. Die Schnittpunkte dieser Bogenordinaten mit der Abscisse, nämlich *a'*, *b'*, *c'* sind dann die gesuchten den Curvenpunkten *a*, *b*, *c* zugehörigen Stellen der Abscisse.

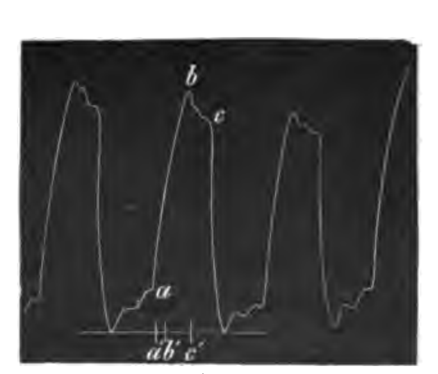


Fig. 86.
Herzstosscurven vom Menschen.

Sollen häufigere Bestimmungen gemacht werden, so ist dazu recht geeignet das von Landois eingeschlagene Verfahren. Man zeichnet auf Papier einen Kreisbogen mit der Hebellänge als Radius, und schneidet denselben aus. Er dient als „Ordinatenlineal". Legt man dasselbe an irgend welche Punkte der (abgewickelten) Curve so an, dass es parallel liegt der mit demselben Radius durch den Fusspunkt der Curve geschriebenen Ordinatenaxe, so trifft es die Abscisse in den zugehörigen Punkten.

An der abgelösten Schreibfläche, für die allein dieser Correctionsmodus brauchbar ist, kann man natürlich auch so verfahren, dass man mit der Hebellänge im Zirkel und fussend in einem Punkte der verlängerten Abscisse durch jeden der zu untersuchenden Punkte der Curve einen auch die Abscisse treffenden Kreisbogen schlägt.

Die beiden letztgenannten Verfahren sind völlig genau, wenn es sich um ebene Schreibflächen handelt; für den Cylinder ist das vorher beschriebene vorzuziehen.

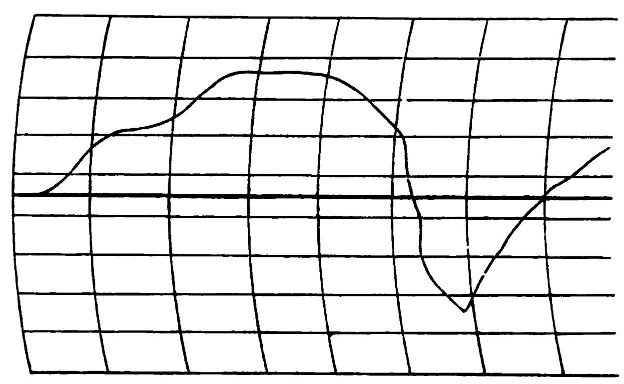


Fig. 87.

Benutzt man einen mit Farbschreiber versehenen Hebel von constanter Länge, und sorgt man dafür, dass er stets in derselben Höhe des Cylinders, also von derselben Abscissenaxe aus seine Aufzeichnungen beginnt, so kann man sich die spätere Aufzeichnung der Ordinatenbogen dadurch ersparen, dass man zur Ueberziehung der Trommel sich eines Papiers bedient, auf welches geradlinige Abscissen und bogenförmige einander parallele Ordinaten aufgedruckt sind. Solches Papier lässt man vom Lithographen herstellen. Natürlich muss der Radius der Ordinatenbogen genau der (unveränderlichen) Schreibhebellänge entsprechen. Bei meteorologischen Registrirapparaten wird diese Einrichtung öfters benutzt. Sie gibt, wie Fig. 87 zeigt, von den Beziehungen der einzelnen Curvenpunkte zur Abscissenaxe sofort eine richtige Vorstellung.

Im übrigen sei hier daran erinnert, dass bei Benutzung grösserer Schreibhebel und für Curvenpunkte, die sich nicht hoch über die Abscisse erheben, die wahren zugehörigen Abscissenpunkte so wenig von den senkrecht unter der Curve gelegenen abweichen, dass eine Correction der Bogenabweichung in vielen Fällen ganz überflüssig wird.

Eine Aufgabe, die nicht selten gelöst werden muss, ist die Aufsuchung synchroner Punkte zweier Curven, die entweder beide,

oder von denen die eine mit dem Fehler der Bogenabweichung behaftet ist.

a) Unter einer mit seitlicher Hebelschreibung aufgenommenen Athmungs-Curve *A* (in Fig. 88) sei ein Signal *s* gezeichnet, dessen Beziehungen zur Curve festgestellt werden sollen.

Hier verfährt man so: Von *s* fällt man ein Loth auf die Abscissenaxe der Curve und legt dann durch den gewonnenen Schnittpunkt *a* einen Kreisbogen, dessen Centrum ein von ihm um die Hebellänge entfernter Punkt der Nulllinie bildet. Wo dieser Bogen die Curve schneidet, liegt der zu *s* gehörige synchrone Punkt.

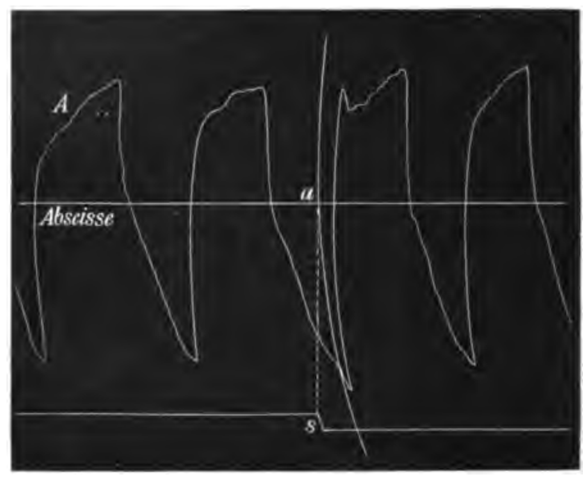


Fig. 88.
Athmungscurve (Taube) und Signal.

Im vorliegenden Falle vermerkte das Signal den Einbruch einer momentanen Vagusreizung, deren Einfluss auf die Athembewegungen festgestellt werden sollte. Aehnlich liegen die Dinge, wenn man unter der mit dem Kardiographen aufgezeichneten Curve des Herzstosses durch elektrische Signale die Herztöne markirt, um zu erfahren, welchen Punkten der Curve der systolische und der diastolische Ton entspricht. Berücksichtigte man dabei die Bogenabweichung nicht, so könnte man den grössten Irrthümern verfallen.

Ein ähnlicher Fall tritt ein, wenn man manometrisch den Blutdruck und gleichzeitig die Athembewegungen registrirt. Den ersteren verzeichne ein geradlinig schreibender Schwimmer, die letzteren ein Schreibhebel, für dessen Aufzeichnungen die Ordinaten bogenförmig seien. Man will wissen, welchen Athemphasen die respiratorischen Maxima und Minima der Druckcurve zugehören. Fällt man Lothe von den tiefsten Senkungen und den höchsten Erhebungen der Blut-

druckwellen auf die Abscisse der Athmungscurve und sucht man in der angegebenen Weise die zu den getroffenen Abscissenpunkten zugehörigen Curvenpunkte auf, so ist das Gewünschte erreicht.

Will man umgekehrt wissen, welche Blutdruckwerthe zum Maximum der Einathmung und der Ausathmung gehören, so muss man die zu diesen Phasen der Athemcurve zugehörigen Punkte der respiratorischen Abscisse mit dem Zirkel aufsuchen. Von diesen Punkten fällt man Lothe zur Nulllinie der Blutdruckcurve; wo sie die letztere treffen, liegen die denInspirations- und Exspirationsgipfeln entsprechenden Blutdruckhöhen.

b) Sind beide Curven, deren synchrone Punkte man kennen lernen will, mit bogenförmiger Abweichung angeschrieben, so kann man folgendermassen verfahren. Seien k^1 und k^2 solche Curven. (Fig. 89). Es sei zu untersuchen, welchem Punkte der Herzcurve k^1 das Maximum m von k^2, einer arteriellen Druckcurve, entspricht. Hier hat man zunächst den zu m zugehörigen Punkt der entsprechenden Abscissenaxe aufzusuchen. Dieser Punkt sei a^2. Von ihm fällt man auf die Abscisse von k^1 eine Senkrechte, die sie in a^1 schneidet. Sucht man jetzt den zu a^1 gehörigen Punkt der Curve k^1 auf, so ist dieser, er werde mit n bezeichnet, der mit m synchrone Punkt.

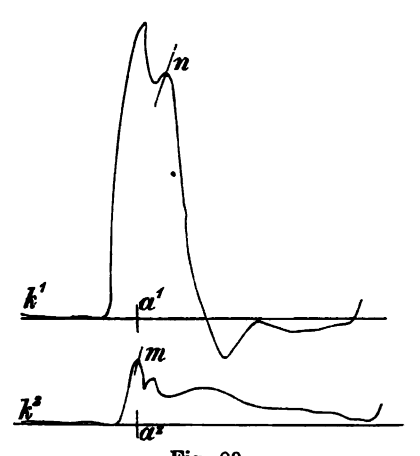


Fig. 89.
Intrakardialer Druck (k^1) und arterieller Blutdruck (k^2).

Obwohl man auf dem geschilderten Wege zu einer ganz exacten Auffindung zusammengehöriger Punkte simultaner Curvenzeichnungen gelangt, wird man in den meisten Fällen einem anderen Verfahren den Vorzug geben, welches dieselbe erheblich erleichtert, und welches auch dann die synchronen Phasen ohne Weiteres erkennen lässt, wenn die benutzten Schreibspitzen nicht genau senkrecht übereinander orientirt waren. Wir wollen dasselbe als „Merkzeichen-Verfahren" bezeichnen. Um es anzuwenden, stellt man nach geschehener Aufzeichnung der Curven den Cylinder so ein, dass die Schreibspitzen sich im Bereich der miteinander zu vergleichenden Curvenabschnitte befinden. Lässt man jetzt gleichzeitig einen jeden Schreibhebel eine Bewegung ausführen, während die Trommel still stehen bleibt, so treffen

die angegebenen Zeichen synchrone Punkte in beiden Curven. Wird dann der Cylinder ein wenig weiterbewegt, so kann man an anderen Curvenstellen die Zeichengebung wiederholen. Wenn man einen bestimmten Punkt der einen Curve im Auge hat, dessen Verhältnis zur anderen Curve man feststellen möchte, so stellt man die Trommel so ein, dass das von dem zugehörenden Schreibhebel angegebene Zeichen durch diesen Punkt hindurch geht.

Ein Beispiel liefere die in Fig. 90 nach Lortet wiedergegebene Zeichnung. *V* ist hier die Stromgeschwindigkeit des Blutes, *P* der Blutdruck in einer und derselben Arterie. Die Merkzeichen 1, 2, 3, 4

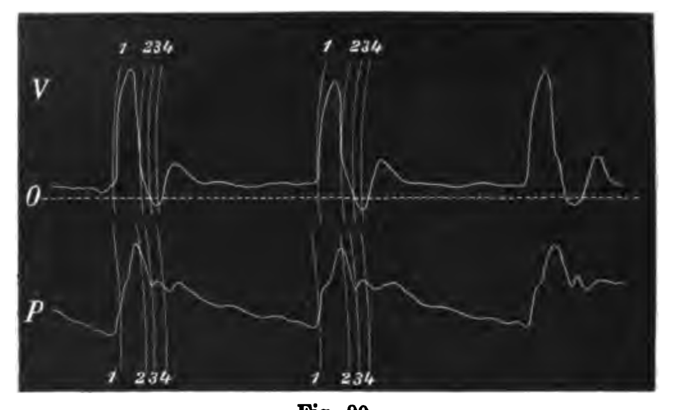


Fig. 90.
Aufzeichnung der Stromgeschwindigkeit des Blutes (V) und des Blutdruckes (P). (Nach Lortet.)

durchsetzen synchrone Punkte der beiden Curven. (Man sieht aus dieser Zeichnung zugleich, dass die beiden Schreibhebel an die Trommel von entgegengesetzten Seiten herangelegt waren, denn die einen Merkzeichen wenden ihre Convexität nach links, die anderen nach rechts.)

Dieses Merkzeichen-Verfahren kann bei der Vergleichung von simultanen Aufzeichnungen auch dann von Vortheil sein, wenn es sich nicht um Bogenschreibung handelt. Stehen nämlich in ihren Anfangsstellungen die Schreibspitzen nicht genau übereinander, so erleichtern die Merkzeichen die Vergleichung der Curven in hohem Maasse und machen jede andere Correction der Spitzenabweichung überflüssig. Dass nicht nur zwei, sondern auch drei und mehr zugleich angeschriebene Zeichnungen auf diese Weise ohne grosse Mühe mit einander verglichen werden können, ist leicht ersichtlich. Mit Recht wird deshalb in der Praxis dieses Verfahren den anderen meistens vorgezogen.

Specieller Theil.

Erster Abschnitt.

Zeitvermerkung und Signalschreibung.

Erstes Capitel.

Zeitvermerkung (Chronographie).

Die vollständige Verwerthung einer graphischen Aufzeichnung ist nur dann möglich, wenn man die Geschwindigkeit kennt, mit welcher sich während des Aufzeichnens die aufnehmende Fläche beim Schreibapparat vorbei bewegt hat. Benutzt man einen durch ein Uhrwerk u. dgl. getriebenen, mit guter Regulationsvorrichtung versehenen Registrir-Cylinder, so genügt die Ermittelung der Umdrehungsgeschwindigkeit, um daraus den Zeitwerth grösserer oder kleinerer Abschnitte der Abscisse zu entnehmen. Die älteren Registrirapparate, wie das Myographion von Helmholtz oder die ebenfalls zur Untersuchung des Ablaufs musculärer und nervöser Vorgänge dienende Volkmann'sche Trommel hatten Zählwerke, an denen die nach Erlangung einer gleichmässigen Geschwindigkeit vorhandene Umdrehungszahl abgelesen werden konnte.

Ist eine solche Vorrichtung nicht vorhanden, so ist man darauf angewiesen, bei jedem Versuch die Geschwindigkeit durch eigene Beobachtungen festzustellen. Bei dem in den deutschen Laboratorien zumeist verwendeten Baltzar'schen Cylinder ist die gleiche Einstellung der Frictionsrolle keine Gewähr dafür, dass man bei stets gleicher Geschwindigkeit schreibt. Geringe, nicht vermeidbare Reibungen, ein etwas stärkerer Druck der Pressschraube u. a. m. sind von Einfluss auf die Schnelligkeit des Ganges.

Es genügt deshalb nicht, ein für alle Mal die den verschiedenen Einstellungen entsprechenden Geschwindigkeiten zu ermitteln. Man muss dieselben vielmehr für jeden Versuch, am besten vor ihm und nach ihm, bestimmen. Zu diesem Zwecke bringt man die zur Aufzeichnung dienende Schreibspitze mit dem Cylinder in Berührung und lässt zu-

nächst durch Hebung oder Senkung des letzteren einen senkrechten Strich verzeichnen, der als Marke dienen soll. Lässt man dann den Cylinder laufen, so gibt, nachdem eine gewisse Anzahl von Umdrehungen gemacht ist, der Vorübergang der Marke an der Schreibspitze das Signal für den Beginn der Zeitbestimmung, die mittelst der Uhr vorgenommen wird. Man begnügt sich nicht mit einer Umdrehung, sondern lässt bei langsamem Gang mindestens drei, bei schnellem zehn Umgänge und mehr machen, und dividirt alsdann die auf der Uhr abgelesenen Sekunden- oder Minutenzahl durch die Anzahl der Umgänge. Machte z. B. die Trommel 4 Umdrehungen in 160 Sec., so geschieht eine Umdrehung in 40 Sec.; und hat der Cylinder einen Umfang von 500 *mm*, so entspricht für diesen Fall 1 *mm* Abscissenlänge $\frac{40}{500} = 0{\cdot}08$ Sec. Man beachte dabei, dass solche Messungen nicht zu machen sind in einer Zeit, in welcher sich das Uhrwerk dem Ablaufen nähert, weil dann die Geschwindigkeit abzunehmen pflegt.

Schon bei gleichmässig sich fortbewegenden Registrirvorrichtungen sind solche Bestimmungen nicht immer sicher und jedenfalls zeitraubend, bei solchen aber, die nicht auf gleichmässigen Gang eingerichtet sind, wären sie ganz unmöglich. Man wird es deshalb in den meisten Fällen vorziehen, sich von allen den Gang beherrschenden Zufälligkeiten unabhängig zu machen und Einrichtungen anzuwenden, die selbst an einem mit beliebiger Geschwindigkeit mit der Hand gedrehten Cylinder, an einer durch den Fall eines Gewichtes oder durch Federkraft vorübergeschnellten Platte eine völlig genaue Zeitbestimmung ermöglichen. Zu diesem Zwecke registrirt man ausser dem aufzuschreibenden Bewegungsvorgang und unter der diesen darstellenden Curve die Zeit. Die Umstände, welche die dazu nothwendige Verwendung besonderer Hilfsmittel mit sich bringt, werden reichlich überwogen durch die dadurch gewonnene Genauigkeit und Leichtigkeit der späteren Zeitberechnung.

Bei langsam ablaufenden Vorgängen hat man eine geringe Geschwindigkeit des registrirenden Apparates und eine Aufschreibung grösserer Zeitintervalle nöthig; bei schnellem Ablauf der zu registrirenden Erscheinung ist neben grosser Cylindergeschwindigkeit die Verzeichnung kleiner Zeittheilchen nothwendig. Handelt es sich in dem einen Falle um Secunden, Doppelsecunden oder um noch grössere Zeiträume, so kann im zweiten die Aufschreibung von hundertstel, ja von tausendstel Secunden wünschenswerth werden. Je nachdem sind die zu verwendenden Hilfsmittel verschieden.

I. Aufschreibung grösserer Zeitintervalle.

1. Elektrische Zeitmarkirung.

Secunden oder noch grössere Bruchtheile einer Minute werden mit Hilfe von Secundenpendeln, Metronomen und ähnlichen Werkzeugen verzeichnet. In der Regel lässt man durch derartige Vorrichtungen alle Secunden oder jede zweite, fünfte, zehnte u. s. w. Secunde einen elektrischen Strom schliessen und öffnen; indem man diesen Strom durch einen Elektromagnet hindurchschickt, dessen Anker

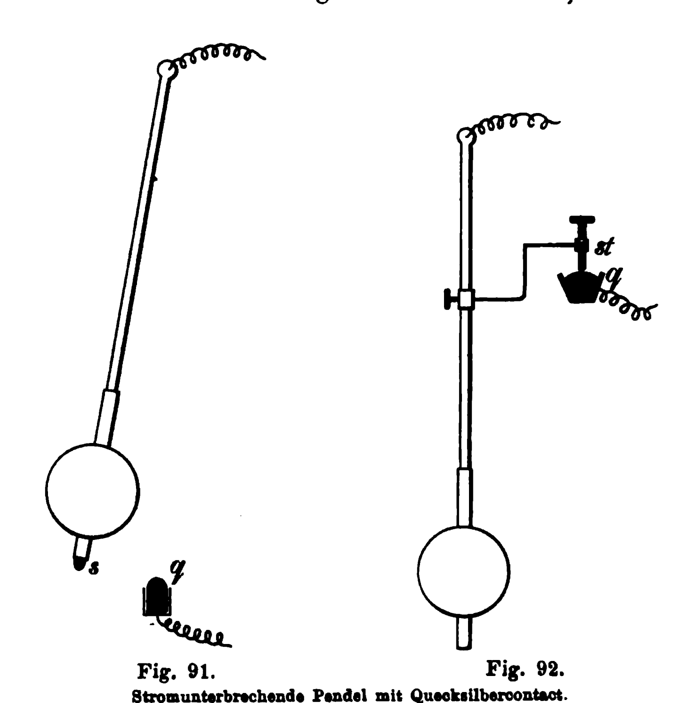


Fig. 91. Fig. 92.
Stromunterbrechende Pendel mit Quecksilbercontact.

mit einer Abreissvorrichtung und mit einer schreibenden Spitze versehen ist, kann man die erwähnten Zeitintervalle in steter Wiederkehr auf dem Registrirapparat verzeichnen lassen.

a) Unterbrechungsapparate.

Zur Unterbrechung des zeitschreibenden Stromes kann jede gut regulirte Uhr benutzt werden. Der an ihr anzubringende Secunden- oder Doppelsecunden-Contact muss aber so eingerichtet sein, dass er den Gang der Uhr nicht merklich beeinflusst. Bei den zu astronomischen

Registrirungen dienenden Uhren ist er entweder mit dem Pendel oder mit dem Steigrad verbunden. Hier mögen nur einige zu physiologischen Zwecken sich empfehlende Einrichtungen erwähnt sein.

Stromunterbrechende Secundenpendel.

Die Abbildungen Fig. 91 und 92 stellen zwei recht brauchbare Constructionen von Contactpendeln dar. Bei Fig. 91 streicht eine unterhalb der Pendellinse angebrachte Platinschneide (*s*) jedesmal, wenn die Gleichgewichtslage des Pendels passirt wird, über eine aus einem kleinen Gefäss hervorragende Quecksilberkuppe (*q*); die Stromverbindung ist in der Zeichnung schematisch angegeben.

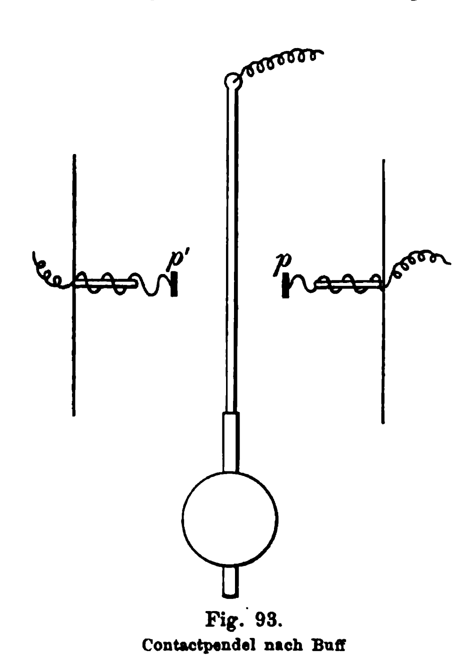


Fig. 93.
Contactpendel nach Buff

In Fig. 92 liefert das Pendel jedesmal Contact, wenn das Stiftchen *st* in den Quecksilbernapf *q* eintaucht; der Strom ist unterbrochen, so lange keine Berührung zwischen Stift und Quecksilber stattfindet. Geht also das Pendel nach rechts, so ist der Strom offen, geht es nach links, so wird er geschlossen. Hier können also nur Doppelsecunden markirt werden; im Allgemeinen ist dies Verfahren deshalb vorzuziehen, weil Doppelschwingungen eines Pendels einander leichter gleich gemacht werden können, als einfache Hin- und Hergänge desselben.

Wird, wie in den beiden angegebenen Vorrichtungen, Quecksilber zur Herstellung des Contactes benutzt, so ist für völlige Reinhaltung der Oberfläche Sorge zu tragen. Man verwende deshalb möglichst schwache Ströme und sorge für die Beseitigung der Oeffnungsfunken, die durch die Verbrennung des Quecksilbers zur Erzeugung von nicht leitenden Oxydschichten führen, durch passende Einschaltung von Widerständen oder von Nebenleitungen. Durch Verbindung des Quecksilbernäpfchens mit einem grösseren, Quecksilber enthaltenden communicirenden Gefäss kann man für die steteErhaltung desselben Quecksilberniveau's Sorge tragen.

In der Fig. 93 abgebildeten, von Buff angegebenen Vorrichtung ist der Contact ein trockener. Das Pendel berührt jedesmal, wenn es seine grösste Entfernung von der Gleichgewichtslage erreicht hat, ein Metallplättchen p und p^1. Jedes dieser Plättchen ist an einer schwachen Spiralfeder derartig befestigt, dass durch die Herstellung des Contactes zwischen Pendel und Plättchen die Schwingung nicht aufgehalten wird, da die Feder leicht nachgibt. Die beiden Contactplättchen stehen mit dem einen Pole einer Kette, das Pendel selbst mit dem anderen in Verbindung.[1])

In Fig. 94 ist das ingeniöse Unterbrechungsverfahren von Krille dargestellt. Die beiden im Durchschnitt gezeichneten Quecksilbergefässe haben an den ein ander zugewendeten Seitenwänden je eine feine Oeffnung. Die aus diesen austretenden Quecksilbertropfen verbinden sich so miteinander, dass zwischen den einander nahestehenden Gefässen eine feine Quecksilberbrücke entsteht. Der Strom geht in das eine Gefäss hinein und durch die Brücke in das andere.

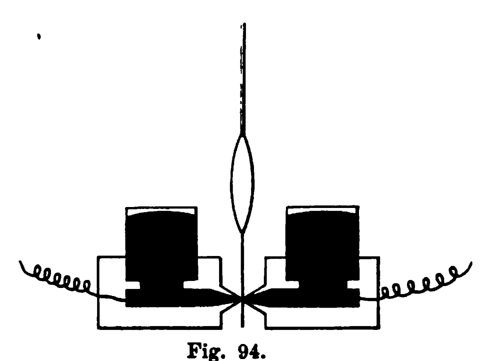


Fig. 94.
Krille's Verfahren der Stromunterbrechung.

Das Pendel trägt an seinem unteren Ende eine Glimmerplatte, die beim Passiren der Gleichgewichtslage die Quecksilberbrücke durchschlägt und so den Strom öffnet. Nach dem Weitergang des Glimmerblattes stellt sich die für kurze Zeit gelöste Verbindung und damit der Strom wieder her. Der Widerstand, den der Gang des Pendels durch den dünnen Quecksilberfaden erfährt, ist, wie genaue Messungen ergeben haben, durchaus zu vernachlässigen.

Metronom.

In Ermangelung eines mit Secundenpendel versehenen Uhrwerkes kann man sich zur Secundenmarkirung auch des Metronoms bedienen An der Pendelstange dieses Apparates bringt man zu diesem Zwecke

---

[1]) Aus dem oben angeführten Grunde ist es richtiger, nur das eine Contactplättchen mit der Kette zu verbinden, den Strom also nur jede zweite Secunde unterbrechen zu lassen. Wünschte man nur Doppelschläge zu registriren, zugleich aber doch auf die Vermerkung von Einzelsecunden nicht zu verzichten, so müsste man dem Pendel die halbe Länge des gewöhnlich üblichen Secundenpendels geben.

einen gebogenen, an seinem einen Ende wohl amalgamirten Kupferdraht an, etwa in der Art, wie dies Fig. 95 darstellt.

Der Kupferbügel *b* taucht bei jeder zweiten Schwingung einmal in das Quecksilbernäpfchen *q*, das auf einem neben dem Metronom befindlichen Stativ in passender Höhe aufgestellt ist, und stellt dadurch die Stromverbindung zwischen den beiden Drähten *d* und *d'* her. Durch Einstellung des den Kupferbügel tragenden Laufgewichtes lässt sich leicht die Unterbrechungszahl derartig regeln, dass man 30 oder 60 Stromschlüsse in der Minute erhält.

Man könnte natürlich auch den zweiten Arm des Kupferbügels in einen zweiten Quecksilbernapf tauchen lassen. Die Zahl der Stromschlüsse würde sich dadurch verdoppeln. Manche ziehen ferner vor, den Bügel an der einen Seite in zwei Zweige sich gabeln zu lassen, die bei genügend tiefer Stellung gleichzeitig in zwei neben einander befindliche Quecksilbergefässe eintauchen. Geht der zeitmessende Strom in das eine der letzteren hinein, und aus dem anderen heraus, so stellt die Kupfergabel zeitweilig eine metallische Verbindung zwischen beiden her, schliesst also den Strom, der hinwiederum bei der Wiedererhebung des Bügels geöffnet wird. Dieses Verfahren hat den Vorzug, dass der Strom das Instrument selbst nicht zu durchsetzen braucht.

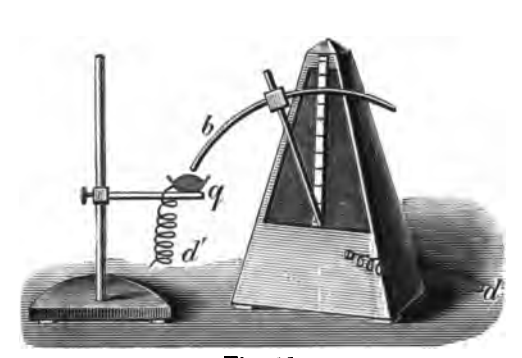


Fig. 95.
Stromunterbrechendes Metronom.

Die Baltzar'sche Contactuhr.

Ein Apparat, der allerdings urspünglich andere Aufgaben zu erfüllen hatte, der aber mit Recht auch zum Zwecke der Zeitmarkirung vielfach Anwendung findet, ist die Bowditch-Baltzar'sche Contactuhr. (Fig. 96 und Fig. 97.)

An der mit einem (in der Fig. 96 nur theilweise abgebildeten) Secundenpendel *p* versehenen, durch ein Gewicht in Gang erhaltenen Uhr steht mit dem Räderwerk eine Metallscheibe *m* in Verbindung, auf welcher in concentrischer Anordnung eine gewisse Anzahl kurzer Metallstifte angebracht ist. Der äusserste Kreis enthält 60, der nächste 30, ein dritter 20 von einander gleich weit entfernte Stifte, der innerste

Kreis hat nur einen Stift. Die Scheibe macht eine Umdrehung in einer Minute. Eine federnde Metallzunge *z* kann durch Verschiebung des mit ihr verbundenen Körpers *k* auf der Horizontalstange *st* so eingestellt werden, dass ihre Lage einem der 10 Stiftkreise entspricht. Wird das Ende der Zunge gehoben, so löst sich ein in der Figur 97 sichtbarer an der Spitze der Schraube *s* befindlicher Platinstift von einer

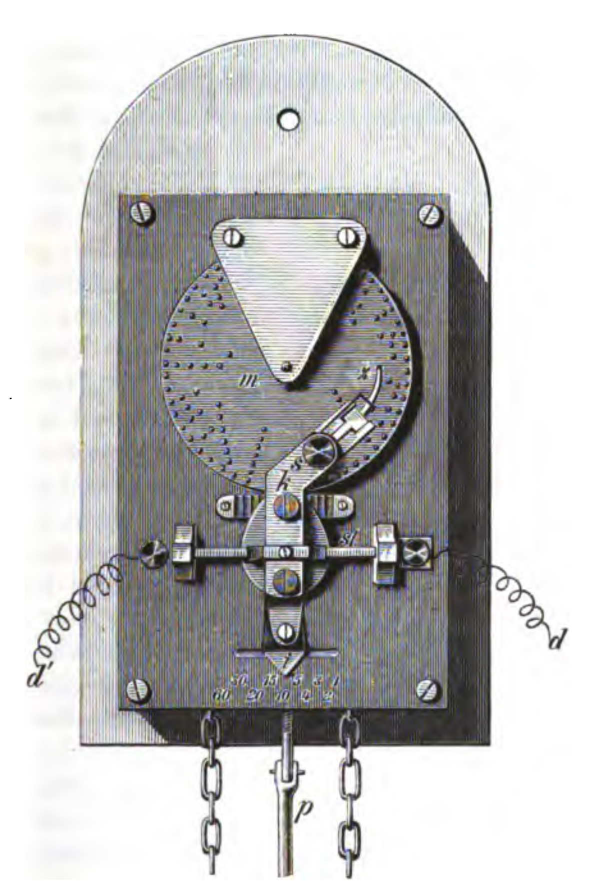


Fig. 96.
Baltzar'sche Contactuhr. (1/2 nat. Gr.)

Platinplatte los, um beim Zurückfedern der Zunge seine Berührung mit der Platte wiederherzustellen. Dieser Platincontact dient zur Schliessung und Unterbrechung des zeitmarkirenden Stromes. Das Platinplättchen ist nämlich durch Vermittelung des Uhrgehäuses mit dem Leitungsdraht *d*, die Platinspitze durch eine aus der Figur leicht zu ersehende, vom Gehäuse natürlich wohl isolirte Verbindung mit dem Draht *d'* verbunden. Ist

nun die Zunge so eingestellt, dass sie einem der Stiftkreise, z. B. dem äussersten entspricht, so wird sie jedesmal, wenn ein Stift unter ihr vorbei passirt, durch ihn etwas gehoben; ist der Stift vorbei, so federt sie zurück. Der elektrische Contact wird demgemäss jedesmal für eine kleine Weile gelöst werden und sich alsbald wieder herstellen, und zwar wird bei der genannten Einstellung sich dies 60 Mal in der Minute ereignen. Da die Stifte eines Kreises unter sich gleich weit entfernt sind, wird also der zeitmarkirende Strom jede Secunde unterbrochen und wieder hergestellt. Stellt man den Metallkörper *k* so ein, dass die Zunge mit einem der anderen Stiftkreise in Contact kommt, so kann man statt 60 nach Belieben 30, 20, 15, 12 .... 1 Unterbrechung des Stromes in der Minute herbeiführen, also jede zweite, dritte, vierte, ... sechzigste Secunde markiren. Diese Zeitintervalle sind auf dem Uhrgehäuse verzeichnet; der Index *i* zeigt an, auf welchen Unterbrechungskreis die Zunge eingestellt ist.

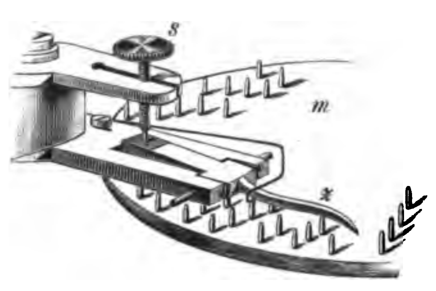


Fig. 97
Unterbrechungsvorrichtung der Baltzar'schen Uhr. (nat Gr)

Die Stromunterbrechung dauert um so länger und demgemäss jeder Stromschluss um so kürzere Zeit, je länger die Zunge auf jedem Stifte schleift. Durch Handhabung der den Platinstift tragenden Schraube *s*, durch welche die Zunge höher oder tiefer eingestellt werden kann, hat man es in der Hand, die Unterbrechungsdauer innerhalb gewisser Grenzen zu verändern. Für die Zwecke der Zeitmarkirung dürfte jedoch diese Einrichtung ohne Bedeutung sein.

Diese Baltzar'sche Uhr, die nach dem Gesagten mit grosser Genauigkeit und Leichtigkeit alle wünschenswerthen Zeitintervalle auf einen Markirapparat zu übertragen gestattet, ist eines der nützlichsten Stücke eines physiologischen Inventars. Die Uhr muss fest an einer Wand aufgehängt und zum Schutze vor Staub mit einem passenden, am besten mit einer Glasthür versehenen Gehäuse umgeben werden. In Fig. 121 ist sie in ihrer Verbindung mit dem zugehörigen Markirmagnet dargestellt.

b) Schreibmagnete.

Um die durch die beschriebenen Vorrichtungen abgegrenzten Zeittheile auf dem Registrirapparat zu verzeichnen, muss man sich elektromagnetischer Hilfsmittel bedienen. Im Allgemeinen sind

hierzu ziemlich grobe Vorrichtungen brauchbar. Wenn man z. B. den kleinen Elektromagnet, der am Unterbrechungshammer der gebräuchlichen Schlittenapparate angebracht ist, so mit der Unterbrechungsuhr verbände, dass der Strom den Magnetdraht durchflösse, und auf den Anker einen mit einer Schreibspitze versehenen Strohhalm aufklebte, so würde ein solcher Apparat genügen, um die gewünschten Zeitmarken auf dem bewegten Cylinder anzugeben. Jeder Durchtritt des Stromes würde mit einer Anziehung, jede Unterbrechung mit einer Loslassung des Ankers verbunden sein. Der Schreibhebel müsste diese Phasen deutlich anzeigen und auf dem Cylinder markiren.

Je nach den speciellen Bedürfnissen hat man den registrirenden Elektromagneten besondere Formen gegeben.

Zeitvermerker von Brondgeest und von Baltzar.

Eines der einfachsten Instrumente dieser Art ist der in Fig. 98 dargestellte Zeitvermerker von Brondgeest. Er gehört zu den ältesten Vorrichtungen dieser Art. Er besteht aus einem Hufeisen-Elektromagnet *m*, über dessen Polen die Ankerplatte *p* schwebt; sie ist mit einem horizontalen Messingstabe *h* verbunden, der, bei *a* um eine Axe hebelnd, durch die Feder *f* etwas nach oben gedrückt wird. Das freie Ende des Stäbchens trägt eine Schreibfeder. Bekommt der den Eisenkern des Magnets umspinnende Draht Strom, so wird der Anker angezogen; ist der Stromkreis offen, so federt der Anker zurück. Die Schreibfeder macht, so lange kein Strom vorhanden ist, einen horizontalen Strich; wird der Eisenkern dagegen magnetisch, so geht die Feder ein wenig nach unten und zeichnet in dieser Stellung eine zur Ruhelinie Parallele, bis die Oeffnung des Stromes sie in ihre Ruhelage zurückgehen lässt. Geschieht Schliessung und Oeffnung des Stromes rhythmisch, z. B. alle Secunden, so schreibt die Zeichenspitze eine gebrochene Linie von der in Fig. 99 wiedergegebenen Form.

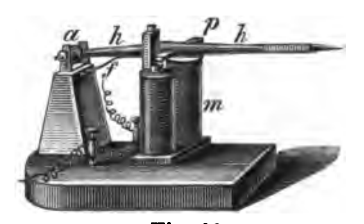


Fig. 98.
Zeitvermerker von Brondgeest.

Die Strecken $a\,a^1$, $a^1\,a^2$ u. s. f. bedeuten dann Secunden. Zeichnungen dieser Art nennt man Chronogramme.

Aehnlich sind andere, demselben Zwecke dienende Vorrichtungen gebaut.

Eine der am häufigsten gebrauchten ist der der Baltzar'schen Uhr (s. o.) beigegebene, im Leipziger Laboratorium entstandene Zeit-

schreiber. Derselbe besteht aus einem groben, mit passend gestalteten Polen versehenen Hufeisenelektromagnet, vor welchem der den Schreibhebel tragende Anker um eine durch seine Mitte gehende Axe sich bewegt. Geht der Strom hindurch, so senkt sich der die Schreibspitze tragende Arm des Ankers, wird der Kreis geöffnet, so wird er durch Federkraft wieder nach oben gezogen. Das Instrument zeichnet also bei periodischem Stromschluss ebenfalls eine regelmässig gebrochene Linie. Mit dem Zeitschreiber ist ein Reizvermerker verbunden. Die genauere Beschreibung und Abbildung des Apparates soll später gegeben werden, wenn von den Signalvorrichtungen die Rede sein wird. (S. Fig. 120 und Fig. 121). Hier mögen, um die Wirksamkeit dieser Vorrichtung zu erläutern, einige Curvenzeichnungen abgebildet werden, die mit Hilfe der Baltzar'schen Uhr und des genannten Markirmagneten unter Einschaltung eines Daniell'schen oder Leclanché-Elementes gewonnen wurden. In allen 4 Reihen sind

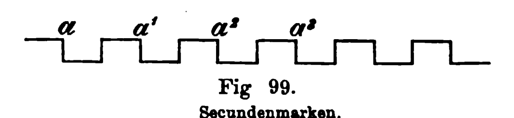


Fig 99.
Secundenmarken.

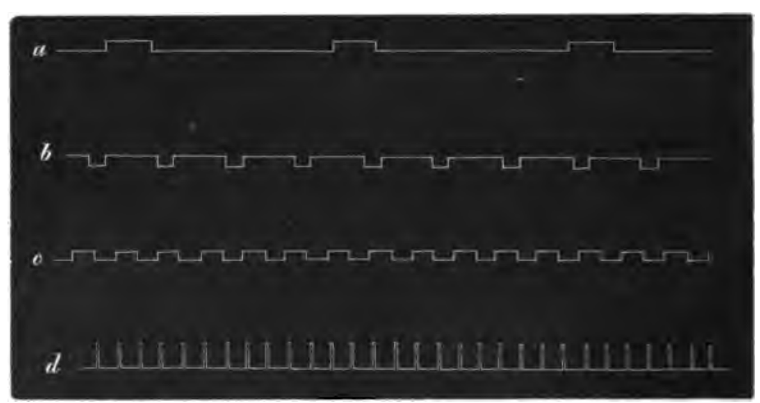


Fig. 100.
Chronogramme (Fünfsecundenmarken).

5 Sec.-Intervalle verzeichnet; die Trommelgeschwindigkeit war bald grösser, bald kleiner, am grössten bei *a*, am kleinsten bei *d*. Je geringer die Geschwindigkeit der Schreibfläche, desto näher einander müssen die einzelnen Zeitmarken liegen. Zugleich waren die Unterbrechungszeiten bald gross bald gering.

Mit Benutzung eines Millimetermasses ermittelt man ohne Weiteres, dass die den verschiedenen Markirungen entsprechenden Cylindergeschwindigkeiten folgende waren:

In 5 Sec. passirten bei *a.* 30·25 *mm* Papier.
bei *b.* 9·5 „ „
bei *c.* 5·6 „ „
bei *d.* 2·7 „ „
d. h. es entsprachen einem Millimeter Papierlänge 0·165, 0·53, 0·89 und 1·85 Sec.

Aus den Aufzeichnungen ist auch zu ersehen, dass die Cylindergeschwindigkeit eine ziemlich regelmässige gewesen ist.[1])

v. Wittich's Zeitschreiber.

Bei anderen Markirvorrichtungen ist der Schreibstift des Magnetankers während der Stromlosigkeit mit dem Papier des Cylinders nicht in Berührung; die Berührung erfolgt hier erst, wenn der Anker angezogen wird und dauert natürlich so lange, wie der Strom dauert. Auf diese Weise erhält man also keine ununterbrochene chronographische Linie, sondern ein System von Strichen, die von einander durch leere Zwischenräume geschieden sind, die aber eine nicht minder deutliche Zeitmarkirung darstellen, wie die vorher erwähnten Chronogramme. v. Wittich bediente sich z. B. bei seinen Untersuchungen über die Reactionszeit des in Fig. 101 abgebildeten Schreibmagnets, der, bei horizontal liegendem Cylinder verwendet, für manche Untersuchungen recht brauchbar ist.

Der Magnetanker (*a*) ist hier an einem um das Axenlager *x* beweglichen Metallstück befesigt. Das letztere trägt zugleich die Zeichenspitze

---

*) Man hat öfters den Wunsch gehabt, die Auszählung chronographischer Marken durch Hervorhebung grösserer Zeitabschnitte bequemer zu machen. Unzweifelhaft würde, wenn man bei Secundenmarken jede fünfte oder zehnte Secunde besonders auszeichnen könnte, die Auszählung eines längern Chronogrammes bedeutend erleichtert sein.

Schon Locke, der im Jahre 1848 die Elektrochronographie in die astronomische Methodik einführte, bediente sich einer Contactuhr, die Secunden markirte und den Ablauf ganzer Minuten durch längere Dauer der Stromöffnung hervorhob. Vielfach sind zu demselben Zwecke recht verwickelte Vorrichtungen angewendet worden. Im Ludwig'schen Laboratorium hat Bowditch am Markirmagnet eine sinnreiche Einrichtung getroffen, vermöge deren jede fünfte Secundenmarke durch ihre Grösse sich vor den andern auszeichnete. Es könnte keine Schwierigkeit machen, am Secundenkreis einer Baltzar'schen Uhr eine Veranstaltung zu treffen, durch die etwa Zehn-Secunden-Gruppen abgegrenzt würden.

Hat man Einrichtungen dieser Art nicht zur Verfügung, so hilft man sich bei der Auszählung längerer Chronogramme am einfachsten dadurch, dass man zunächst einzelne Dekadengruppen auszählt und durch kleine Striche von einander abgrenzt. Darauf hat man nur die Zahl der auf die gewünschte Strecke entfallenden Dekaden resp. deren Bruchtheile zu ermitteln. Dieses Erleichterungsverfahren ist besonders auch für die Auszählung von Stimmgabelschwingungen zu empfehlen.

s, deren Einstellung durch das Laufgewicht *g* regulirt werden kann. Die übrigen Bestandtheile der Vorrichtung sind aus der Abbildung verständlich. Hat der Draht des Elektromagnets Strom, so zieht sein Kern den Anker an und die Spitze *s* nähert sich der Cylinderoberfläche. Eine so gewonnene Zeichnung stellt Fig. 102 dar.

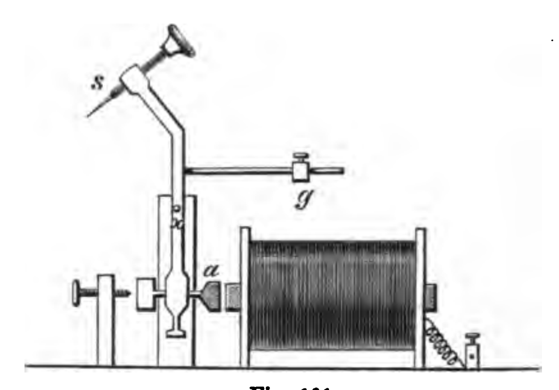


Fig. 101.
v. Wittich's Markirmagnet.

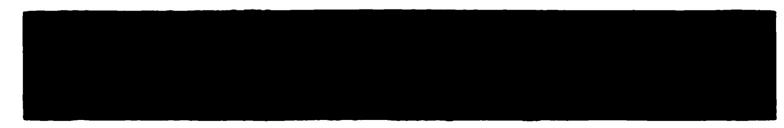


Fig. 102.
Zeitmarken des Wittich'schen Markirmagnets.

2. Zeitmarkirung ohne Strom.

Wir dürfen darauf verzichten, hier weitere Abbildungen und Beschreibungen von Markirmagneten zu geben, zumal da zu den hier in Rede stehenden Zeitregistrirungen auch die später zu erwähnenden elektromagnetischen Signale, sowie die zur Markirung kleinerer Zeitintervalle dienenden Vorrichtungen benutzt werden können.

Dagegen sei hier noch einiger chronographischer Methoden gedacht, bei denen der Experimentator der Benutzung eines Stromes und eines Schreibmagnetes gänzlich überhoben ist. Hier ist in erster Reihe die wohl zuerst von Klemensiewicz empfohlene Transmissionschronographie zu nennen Die Zeit wird bei diesem Verfahren von einem Metronom angegeben, die Aufschreibung erfolgt nach dem Princip der Luftübertragung mittelst zweier oder dreier Marey'scher Kapseln. Ich habe eine ähnliche Vorrichtung Jahre lang im Gebrauch gehabt und kann sie nur loben. Der genannte Forscher hat seinem Apparat die in Fig. 103 dargestellte Form gegeben.

Die Pendelstange des Metronoms trägt einen mit Leder überzogenen Knopf (*k*), der rechts und links gegen die Metallplatte je eines Marey'schen Aufnahmetambours (*t* und *t*') schlägt. Die von den beiden Kapseln ausgehenden Röhren vereinigen sich in dem gemeinschaftlichen Rohre *r*, das andererseits mit einer Zeichenkapsel verbunden ist. Der Ausschlag des Pendels nach rechts wie nach links wird auf diese Weise auf den Hebel des Zeichenapparates übertragen, und dieser kann nach passender Verschiebung des Laufgewichtes Secunden markiren. Um die Einstellung der Aufnahmekapseln gegen den Pendelknopf zu reguliren, kann man sie in den Hülsen *h* und h^1 verschieben und durch die Schrauben *s* und s^1 feststellen.

Ich selbst habe mich nur einer Aufnahmekapsel bedient. Dieselbe trug einen stärkeren Holzhebel, gegen den die Pendelstange alle zwei Secunden schlagen musste. Die Einstellung des Metronoms auf die gewünschte Schlagzahl muss, nachdem den Kapseln die definitive Stellung gegeben ist, mit Hilfe einer Uhr vorgenommen werden.



Fig. 103.
Transmissionschronograph nach Klemensiewicz.

Man kann ferner ein Metronom oder ein Secundenpendel seine Hin- und Hergänge auch d i r e c t, unter Verwendung ganz einfacher Zwischenglieder, auf die bewegte Fläche aufschreiben lassen.

Zuweilen benutzt man als Zeitmesser d i e s e l b e U h r, w e l c h e d i e R e g i s t r i r f l ä c h e b e w e g t. In diesem Falle muss man sich aber gegenwärtig halten, dass die so gelieferten Zeitmarken bei gleichförmigem Gang der Schreibfläche allerdings eine bequeme Uebersicht über die zeitlichen Verhältnisse des graphisch dargestellten Bewegungsvorganges erlauben, dass sie aber nicht zur Controle d e r g l e i c h m ä s s i g e n B e w e g u n g des Registrirapparates dienen können. Ein unregelmässiger Ablauf des Uhrwerkes müsste die Bewegung der Schreibfläche und die Zeitmarkirung in gleicher Weise fehlerhaft machen; gleiche Abstände der Secundenmarken unter einander wären deshalb hier keine Gewähr dafür, dass die Fläche sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegt hat.

Noch weit einfacher als die erwähnten Methoden und jederzeit leicht und ohne Kosten zu improvisiren, ist das originelle chronographische Verfahren, welches Grützner angegeben hat. Hier geschieht die Zeitmarkirung durch Wassertropfen, die aus einer mit einem Mariotte'schen Gefäss verbundenen Röhre auf eine Marey'sche Aufnahmekapsel fallen. Durch einen Quetschhahn vermag man den Tropfenfall leicht so zu regeln, dass jede Secunde ein Tropfen auf die Kapsel auffällt, welche ihrerseits die dadurch herbeigeführte Erschütterung auf eine Schreibkapsel überträgt.

II. Aufzeichnung kleiner Zeitintervalle.

Müssen kleinere Zeitwerthe als Secunden gemessen werden, so reichen die unter I. erwähnten Vorrichtungen nicht aus. Zur Noth kann man bei grösserer Cylindergeschwindigkeit die Secundenmarken halbiren, selbst viertheilen u. s. w.; aber bei häufig zu wiederholenden Messungen würde die Mühe leicht zu gross, und zudem käme man ja doch nur bis auf grobe Bruchtheile von Secunden.

1. Die schreibende Stimmgabel.

Man bedient sich deshalb für solche Zwecke besser der schon im Jahre 1807 von Thomas Young empfohlenen chronographischen Stimmgabel, deren Schwingungen man auf die bewegte Fläche aufzeichnet. Je nach der gewünschten Zeiteintheilung wählt man die Stimmgabel aus; solche, deren Schwingungszahl ein ganzzahliges Multiplum von 10 ist, sind wegen der grösseren Bequemlichkeit der Rechnung vorzuziehen. Für die meisten Zwecke kommt man mit zwei Gabeln von 50 und 100 Schwingungen in der Secunde aus. Man beachte bei der Auswahl, dass bei den französischen Gabeln die Vibrationszahl in halben Schwingungen berechnet zu sein pflegt, während in Deutschland unter Stimmgabelschwingungen stets ganze Schwingungen (auch Doppelschwingungen genannt) verstanden werden.

Directe Aufzeichnung der Stimmgabelschwingungen.

Klebt man auf das Ende einer Stimmgabelzinke mit einer winzigen Menge von Klebwachs eine Schweinsborste oder eine kleine, aus fein ausgewalztem Aluminiumblech geschnittene Schreibspitze, so wird dadurch die Schwingungszahl nur unerheblich verändert. [1])

---

[1]) R. Koenig fand, das eine Stimmgabel von 256 Schwingungen, die er mittelst sehr wenig Wachs mit einer Schweinsborste armirt hatte und die durch eine kleine, mit der Borste verbundene Federfahne auf den berussten Cylinder schrieb, in 1 Sec. nur $^1/_6$ Schwingung weniger machte, als im freien Zustand. Bei Metallfedern fand er den Fehler wegen der stärkeren Reibung etwas grösser.

Eine so ausgerüstete Gabel (s. Fig. 104) kann man auf den berussten Cylinder schreiben lassen, nachdem man sie durch Anschlagen (mittelst eines mit Leder überzogenen Klöppels) oder durch Anreissen (durch Ausziehen eines zwischen die beiden Arme eingezwängten Holz- oder Messingkeiles), oder durch Anstreichen (mit dem Fidelbogen) in Schwingungen versetzt hat. Die geschriebenen Curven (Fig. 105) sind einfache Wellenlinien, Sinuscurven, die dem Gesetze des schwingenden Pendels entsprechen.

Jede Zacke einer solchen Curve, entspricht einem Hin- und Hergang der Stimmgabel, d. h. einer ganzen Schwingung. Fig. 105 ist bei schnell gedrehtem Cylinder mit einer Stimmgabel von 250 Schwingungen gezeichnet. Die jedesmalige Entfernung zweier Wellenberge oder zweier Wellenthäler von einander beträgt demnach $\frac{1}{250}$ Sec. = 0·004 Sec.; jede Entfernung eines Berges vom nächsten Thale wäre = 0·002 Sec.



Fig. 104.
Zeitschreibende Stimmgabel. (½ nat. Gr.)

Stimmgabeln mit Luftübertragung.

Eine mit Schreibfeder versehene Stimmgabel soll, wenn man mit ihrer Hilfe Zeitmessungen zu machen beabsichtigt, fest neben dem Registrirapparat aufgestellt sein. Sind gleichzeitig noch andere Schreibvorrichtungen an demselben Apparat thätig, so wird die Stimmgabel schon wegen ihrer Grösse, besonders aber wegen der mit dem jedesmaligen Anschlagen verbundenen Erschütterung oft recht lästig. Man zieht deshalb meistens

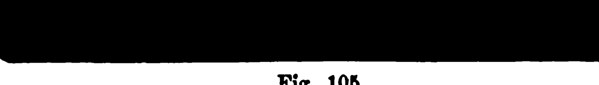


Fig. 105.
Stimmgabelzeichnung.

vor, die Stimmgabelschwingungen auf einen Zwischenapparat zu übertragen und durch diesen aufschreiben zu lassen, während die Gabel selbst entfernt von der Registrirfläche aufgestellt wird. Zu diesem Zwecke kann man, wie weiter unten auseinandergesetzt werden soll, die Elektricität benutzen. Man kann aber auch, und dies ist weit einfacher, das Verfahren der Luftübertragung zu Hilfe nehmen.

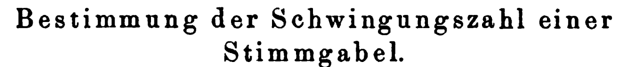
Nähert man nämlich der einen Stimmgabelzinke eine Marey'sche Aufnahmekapsel, die durch einen Schlauch mit einer Zeichenkapsel in Verbindung steht, so werden die Schwingungen sehr gut auf den Schreibhebel der letzteren übertragen. Man kann auf diese Weise das Chronogramm in beliebiger Entfernung von der schwingenden Gabel zur Darstellung bringen.

Fig. 106 zeigt, in welcher Weise die Anordnung zu treffen ist. Die hier abgebildete Stimmgabel ist an einem Haken aufgehängt; ihre Enden sind, um die Trägheit und damit die Dauer des Nachklingens zu vermehren, mit Bleigewichten beschwert. Die auf der Membran der Kapsel *k* befestigte kleine Metallscheibe ist durch einen Stift mit einer auf der Gabel verschiebbaren Hülse verbunden.



Fig. 106. Stimmgabel mit Aufnahmekapsel von Marey.

Die Zeichnungen des Schreibhebels einer mit *k* verbundenen Zeichenkapsel geben bei dieser Anordnung die Zahl der Stimmgabelschwingungen nachweislich treu wieder. Eine solche chronographische Kapsel ist der gleichzeitigen Anbringung anderer Schreibapparate natürlich nicht im Wege. Anstatt der gewöhnlichen Stimmgabel kann man bei diesem Verfahren auch eine solche verwenden, die sich automatisch in Thätigkeit erhält (s. u.).



Bestimmung der Schwingungszahl einer Stimmgabel.

Zuweilen wird es nöthig, die Schwingungszahl einer zu chronographischen Messungen zu benutzenden Stimmgabel zu bestimmen. Allerdings findet man auf den wohl am meisten gebräuchlichen Koenig'schen Gabeln die Schwingungszahl angegeben, und diese Angabe ist absolut zuverlässig. Von Zeit zu Zeit wird man aber doch den Wunsch haben, sie zu verificiren. Zu diesem Zwecke verfährt man folgendermassen. Man lässt die Stimmgabel ihre Schwingungen auf einen rotirenden Cylinder aufschreiben und verzeichnet unter dieser Zeichnung die Schläge eines Secundenpendels oder eines genau auf eine bestimmte Schlagzahl eingestellten Metronoms nach einer der früher beschriebenen Methoden. Man zählt alsdann auf der Tafel die in *n* Secunden ausgeführten Schwingungen aus, und dividirt, um die einer Secunde entsprechende Schwingungszahl zu erhalten, den gewonnenen Werth durch *n*. Man kann auch, wie dies zuerst Beetz

gethan hat, auf der Stimmgabelzeichnung selbst durch Vermittelung eines stromunterbrechenden Pendels und eines Funkeninductors Secundenmarken anbringen. Das hierbei zu befolgende Verfahren wird weiter unten beschrieben werden.

Besitzt man eine Stimmgabel, deren Schwingungszahl genau bekannt ist, so lässt sich vermittelst dieser jede andere unbekannte Stimmgabel dadurch bestimmen, dass man beide Gabeln gleichzeitig schreiben lässt und untersucht, wie viel Schwingungen der unbekannten Gabel auf *n* Schwingungen der Normalgabel entfallen.

Sehr genau lässt sich die Schwingungszahl einer Stimmgabel berechnen aus den Schwebungen, die sie mit einer Normalgabel macht. Die Zahl der Schwebungen in der Secunde ist bekanntlich gleich dem Unterschied der Schwingungszahlen beider Gabeln. Man bedarf dazu einer Normalgabel, deren Stimmung von derjenigen der zu prüfenden nur unerheblich abweicht. Das graphische Verfahren dürfte allgemeiner verwendbar sein, und es empfiehlt sich für unsere Zwecke auch deshalb, weil die Gabel hierbei unter denselben Bedingungen geprüft werden kann, unter denen sie bei den eigentlichen Versuchen wirkt.

2. Selbstthätige Stimmgabeln und zugehörige Schreibapparate.

Das Wesen der elektrischen Aufzeichnung kleiner Zeittheilchen beruht darauf, dass man durch eine in andauernder Schwingung erhaltene Stimmgabel einen galvanischen Strom periodisch unterbrechen lässt, und diesen Strom durch einen elektromagnetischen Apparat hindurchschickt, welcher seine Unterbrechungen aufschreibt.

a) Unterbrechungsstimmgabeln.

In der Regel hat derselbe galvanische Strom, welchen die schwingende Stimmgabel unterbricht, zugleich die Aufgabe, die Schwingungen zu unterhalten. Man hat freilich auch elektrische Stimmgabeln construirt, bei denen ein eigener, von dem zu unterbrechenden Strome unabhängiger Arbeitsstrom dazu benutzt wird, die Gabel in Thätigkeit zu erhalten, doch dürften dieselben bis jetzt zu chronographischen Zwecken kaum Verwendung gefunden haben.[1])

[1]) Vor Kurzem hat R. Ewald gezeigt, dass man eine Stimmgabel auch dadurch in andauernder Schwingung erhalten kann, dass die Zinken der Einwirkung eines drückenden oder saugenden Luftstromes (z. B. eines Trommelgebläses) ausgesetzt werden. Liesse man die Schwingungen einer solchen Gabel einen galvanischen Strom unterbrechen, oder versähe man diese Gabel mit einer Marey'schen Kapsel so würde sie zu chronographischen Zwecken recht brauchbar sein.

Das Princip der gewöhnlich benutzten, durch Helmholtz eingeführten Unterbrechungsgabeln ist dasselbe wie das des allbekannten Wagner'schen Hammers. Der Strom umkreist einen Elektromagnet, welcher die Stimmgabel abwechselnd anzieht und wieder loslässt. Die Gabel unterbricht jedesmal, wenn sie angezogen wird, den Strom, und schliesst ihn wieder, wenn sie, von dem durch die Stromunterbrechung entmagnetisirten Eisenkern freigegeben, zurückschwingt. So erhält sich eine solche Gabel selbst im Gange und liefert dabei eine Anzahl von Stromunterbrechungen, die der Zahl ihrer Schwingungen gleich ist. [1])

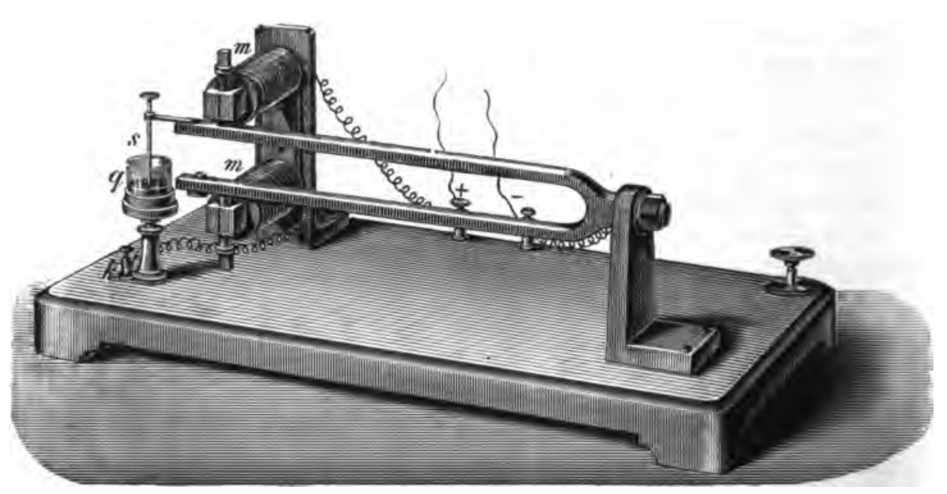


Fig. 107.
Koenig'sche Unterbrechungs-Stimmgabel mit Quecksilber-Contact, nach Pfaundler.
(¹/₄ nat Gr.)

In Fig. 107 und Fig. 108 sind zwei derartige Gabeln dargestellt, wie sie von R. Koenig verfertigt werden. Eine dritte, einfacherer Construction, ist weiter unten in Fig. 115 wiedergegeben. Die Abbildung Fig. 107 zeigt eine Stimmgabel, deren Zinken zwischen den Polen des Hufeisenmagnetes *m m* liegen. An der oberen Zinke ist ein in seiner Fassung auf und niederzuschraubender Drahtstift *s* angebracht, welcher an seinem unteren Ende eine lanzettförmige Platinspitze trägt. Diese Spitze taucht in das Gefäss *q* so ein, dass sie sich

---

[1]) Wie Koenig mittheilt, erleidet allerdings die Schwingungszahl einer Stimmgabel durch ihre elektrische Montirung eine nicht ganz geringfügige und sich nicht immer gleich bleibende Veränderung. Kommt es auf sehr genaue Messungen an, so wird man deshalb gut thun, neben den Stimmgabelschwingungen auch noch Secunden zu verzeichnen.

während der Ruhelage der Gabel mit dem darin enthaltenen Quecksilber in Contact befindet. Der elektrische Strom wird durch die mit + und — bezeichneten Polklemmen zugeführt. Bei + tritt er ein und geht von da in die Drahtwindungen des Elektromagnets; dann begibt er sich durch eine kurze Drahtleitung unter Vermittlung der Klemme *k* in das Quecksilbergefäss, geht bei bestehendem Contact vom Quecksilber auf *s* über und von da durch die Stimmgabel selbst und durch eine mit ihr verbundene Drathklemme bei — zur Kette zurück. Ist der Strom hergestellt, so wird der Eisenkern des Elektromagnets magnetisch, er zieht in Folge dessen die beiden Zinken der Stimmgabel auseinander; indem die obere Zinke dabei nach oben geht, hebt sie die Platinspitze des Stiftes *s* aus dem Quecksilber und unterbricht so den Strom. Dadurch verliert der Eisenkern seinen

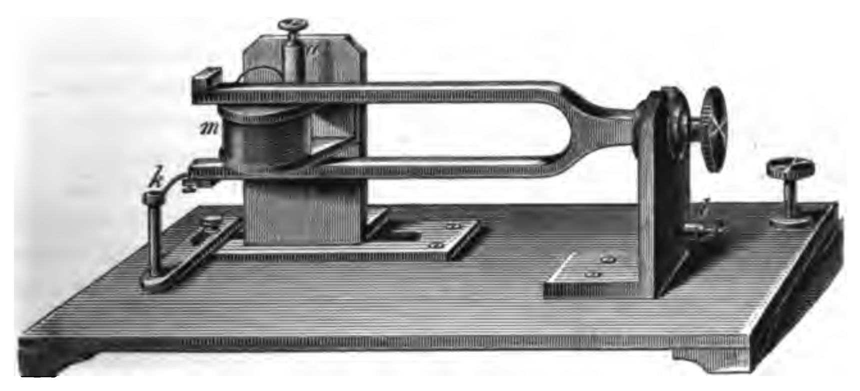


Fig. 108.
Koenig'sche Unterbrechungsgabel mit trockenem Contact. (1/4 nat. Gr.)

Magnetismus und lässt die Zinke los; sie geht in ihre Ruhelage zurück, schliesst dadurch wieder den Strom und gibt auf diese Weise zur fortwährenden Wiederholung des Vorganges Anlass. Die Geschwindigkeit, mit welcher die freigewordene Gabel jedesmal zurückvibrirt, hängt von ihrer Schwingungsgeschwindigkeit ab; die Zahl der Stromunterbrechungen wird daher eben so gross sein müssen, wie die Schwingungszahl der frei schwingenden Gabel.

Da der Quecksilbercontact sich durch Verbrennung bei der Stromunterbrechung bald mit einer nicht leitenden Oxydschicht bedeckt, sucht man die Oeffnungsfunken dadurch möglichst gering zu machen, dass man über das Quecksilber verdünnten Alkohol schichtet. Derselbe muss ab und zu abgesaugt und durch neuen ersetzt werden. Ganz und gar wird dadurch die Verunreinigung der Queck-

silberoberfläche aber nicht vermieden. Sehr zweckmässig ist deshalb die Benutzung eines Kronecker'schen Spülcontactes, bei welchem das entstehende Oxyd fortwährend durch einen Spiritusstrom fortgeschwemmt wird. Noch besser ist es, an die Stelle des Quecksilbercontactes einen trocknen Contact zu setzen, wie das bei der in Fig. 108 und auch bei der in Fig. 115 abgebildeten Stimmgabel der Fall ist. In der ersteren (Fig. 108) wird der Contact *k* durch eine auf einem verticalen Messingsäulchen befindlichen Platinplatte und einen diese berührenden mit der unteren Stimmgabelzinke verbundenen Platindraht hergestellt.

Auch sonst unterscheidet sich diese Stimmgabel von der in Fig. 107 abgebildeten. Der Elektromagnet (hier kein Hufeisenmagnet) liegt zwischen den Stimmgabelarmen. Der Strom tritt an der Klemmschraube *a* ein und bei *b* heraus. Wird der Eisenkern magnetisch, so hebt er den Draht vom Platinplättchen ab und unterbricht so den Strom, der aber gleich darauf sich durch den Rückgang der Zinke wieder herstellt.



Fig. 109.
Secundäre elektrische Stimmgabel.
(1/3 nat. Gr.)

Noch einfacher ist die Construction der Stimmgabel in Fig. 115. Hier ist der Magnet *m* seitlich von der einen Zinke angebracht; die Contactstelle befindet sich bei *k*.

b) Schreibende Vorrichtungen.

Secundäre Stimmgabeln.

Sollen die Schwingungen einer solchen Unterbrechungsgabel aufgezeichnet werden, so kann man als Schreibapparat eine „secundäre" Stimmgabel benutzen, die, zwischen den Polen eines Elektromagnets spielend, ihre Schwingungen durch eine einfache Schreibfeder auf den berussten Cylinder überträgt. Fig. 109 stellt eine solche dar.

Den beiden Stimmgabelzinken sind die Polschuhe des Elektromagnets *m m* genähert. Wird durch Vermittelung der Drathklemmen *a* und *b* ein unterbrochener Strom durch den Draht des Magnets geschickt, so werden die Zinken abwechselnd auseinandergezogen und einander wieder genähert werden müssen. Diesen unterbrochenen Strom hat eine „primäre," selbstthätige Stimmgabel zu liefern, in deren Stromkreis der Elektromagnet der zeichnenden Gabel eingeschaltet ist. Es ist zwar zweckmässig, aber nicht nöthig, dass die beiden Gabeln unison sind. Ist dies der Fall, so werden die Zinken der Schreibgabel eben so häufig angezogen und wieder losgelassen, wie sie frei angeschlagen schwingen würden. Die secundäre Stimmgabel kann aber auch auf 3 *n*, 2 *n* .. Schwingungen abgestimmt sein. Sie erhält dann nur bei jeder zweiten, dritten u. s. w. Schwingung einen belebenden Impuls und hat in der Zwischenzeit selbständig weiterzuschwingen. Durch die Zeichenspitze *z* werden die Schwingungen der secundären Gabel auf den Cylinder verzeichnet. Die auf einem schweren Träger angebrachte Gabel kann horizontal und vertical gebraucht und in der gewünschten Stellung durch die Schraube *s* erhalten werden.

Der Chronograph von Marey und verwandte Apparate.

Soll das Chronogramm zugleich mit anderen Aufzeichnungen dargestellt werden, so ist diese Einrichtung zu schwerfällig und raumbeschränkend. Viel zweckmässiger ist die Anwendung kleiner empfindlicher Schreibmagnete. Als Beispiel dieser Art von Vorrichtungen sei hier vorläufig nur der von Marey angegebene Chronograph angeführt. (Fig. 110.)

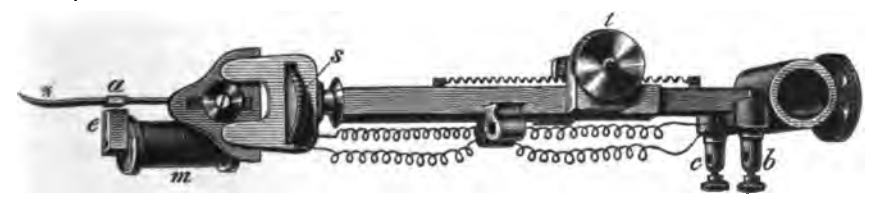


Fig 110.
Marey's Chronograph. (³/₄ nat. Gr.)

Ein kleiner Elektromagnet (*m*) trägt an einem seiner Pole ein abgeschrägtes Eisenstück, vor dem ein an einer Stahlfeder befestigter kleiner Anker (*a*) spielt, der sich nach vorn in eine Zeichenspitze (*z*) fortsetzt. Der Strom wird bei *c* und *b* zugeleitet, und geht durch die mit diesen Klemmschrauben verbundenen Drähte zum Elektromagnet. Wird nun dieser Strom periodisch unterbrochen, so schwingt der

abwechselnd angezogene und wieder losgelassene Anker *a* in einer zur Zeichnung senkrechten Ebene hin und her. Die (in der Abbildung unsichtbare) Feder, die den Anker trägt, ist so abgestimmt, dass sie am sichersten bei 50 Stromunterbrechungen mitschwingt. Durch die Schraube *s* kann man aber auf ihr einen Schieber so einstellen, dass nur die halbe Länge der Feder in Betracht kommt; der Apparat ist dann auf 100 Stromunterbrechungen per Secunde eingerichtet. Mit einer Unterbrechungsstimmgabel von 50 bez. 100 Schwingungen verbunden, zeichnet das kleine Instrument die entsprechenden Zeitintervalle gut auf. (s. Fig. 111.) Die handliche



Fig. 111.
Chronographenzeichnung bei anfänglich zunehmender, dann wieder abnehmender Trommelgeschwindigkeit.

Form desselben erlaubt seine bequeme Anbringung neben anderen Schreibapparaten, besonders auch neben Marey'schen Kapseln. Durch Zahnstange und Trieb (*t*) ist man in den Stand gesetzt, die Länge des auf seinem Träger befestigten Instrumentchens zu verändern, die Schreibspitze nach Bedürfnis vorzuschieben oder zurückzuziehen, so dass man also die Länge des Chronographen derjenigen anderer zugleich benutzter Schreibapparate gleich machen kann.

Zu demselben Zwecke wie das erwähnte Instrument sind noch gewisse andere Vorrichtungen anwendbar, nämlich einige der später zu beschreibenden Signalzeichner. Ihre Anwendung hat vor der des Marey'schen Chronographen sogar insofern einen Vortheil, als sie nicht an die Benutzung von Unterbrechungsgabeln von bestimmter Schwingungszahl gebunden ist. Das elektrische Signal von Deprez z. B. (s. Fig. 123) gibt, mit irgend einer Unterbrechungsstimmgabel verbunden, treffliche Zeitmarken, wie aus Fig. 112 zu ersehen ist.

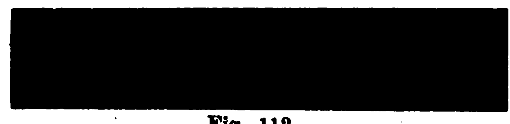


Fig. 112.
Chronogramme des mit einer elektrischen Stimmgabel verbundenen Deprez'schen Signals, bei zwei verschiedenen Cylindergeschwindigkeiten gezeichnet.

Aehnliches leistet der (Fig. 124 S. 154 dargestellte) Kronecker-Pfeil'sche Markirapparat. Dagegen sind für die raschen Stromunterbrechungen, wie sie hier verlangt werden, grobgearbeitete Elektromagnete, wie die für die Secundenschreibung üblichen, wegen ihrer Trägheit nicht brauchbar.

Es sei noch bemerkt, dass eine mittelgrosses Tauchelement völlig hinreicht, um eine automatische Stimmgabel und den zugehörigen Schreibmagnet in Bewegung zu erhalten.

3. Andere chronographische Hilfsmittel.

An Stelle von Stimmgabeln kann man auch andere Tonquellen zu chronographischen Zwecken benutzen. In erster Reihe sind hier schwingende Stäbe und abgestimmte Federn zu nennen. Dieselben können ganz genau wie Stimmgabeln benutzt werden.

So besteht Kagenaar's Chronoskop aus sechs auf einem schweren Dreifuss angebrachten wohl abgestimmten Stahlstäben; der grösste davon gibt 2, der kleinste 50 Schwingungen in der Secunde. Sie werden entweder einfach angeschlagen oder durch eine elektromagnetische Vorrichtung in Gang erhalten. Durch Verbindung mit Marey'schen Kapseln werden die Schwingungen in der oben geschilderten Weise aufgeschrieben. Ein einfacher Kunstgriff ermöglicht eine nicht unbeträchtliche Erleichterung bei der Auszählung der chronographischen Zacken. Werden nämlich zwei Stäbe, deren Schwingungszahlen sich wie 1 : 5 verhalten, mit Aufnahmekapseln versehen, deren Ausgänge in einen gemeinschaftlichen, mit einer Schreibkapsel in Verbindung stehenden Schlauch münden, so erhält man, bei entsprechender Regulirung der beiderseitigen Amplituden, in der Aufzeichnung die langsamen und grossen Curven des tiefen Stabes und auf diese aufgesetzt die kleinen Zacken, die dem schneller schwingenden Stabe entsprechen. Offenbar ist auf diese Weise jede fünfte Schwingung auf das deutlichste markirt, die Auszählung also vereinfacht.

An Stelle von Unterbrechungsstimmgabeln lässt sich in Verbindung mit Schreibmagneten auch sehr gut der akustische Unterbrecher von Bernstein verwenden. Derselbe besteht bekanntlich aus einer nach Art des Wagner'schen Hammers in Schwingungen erhaltenen Stahlfeder. Je nach der leicht zu variirenden Länge und je nach der Elasticität der benutzten Feder ist die Unterbrechungszahl eine verschiedene. Man ist somit hier in der Lage, die Zahl der in eine Secunde fallenden chronoskopischen Marken beliebig zu verändern. Natürlich muss die jedesmalige Schwingungszahl entweder durch das Gehör (am besten unter Mitwirkung eines in den Stromkreis eingeschalteten Telephons), oder durch Vergleichung mit einer Normalstimmgabel (auf graphischem Wege oder durch Schwebungen) festgestellt werden.

Der Chronograph von Kronecker und Grunmach benutzt das Princip der Zungenpfeife. Eine stählerne Zunge, welche

auf 100 Schwingungen für die Secunde abgestimmt ist, und die sich in dem Schlitze eines Messingrohres bewegt, trägt eine feine Schreibfeder, die so angebracht ist, dass ihre Reibung am Cylinder die Schwingungen der Zunge nicht beeinträchtigen kann. Das Messingrohr steht mit einem Schlauch in Verbindung, der an eine Aspirationsvorrichtung anzufügen ist. Als solche kann eine Wasserstrahlpumpe, im Nothfall auch der saugende Mund des Experimentirenden dienen. Zwischen dem Schlauch und der Pfeife ist noch ein Resonator angebracht, der auf den dritten Oberton der Zunge abgestimmt ist. Der Apparat hat den Vorzug, dass die primär in Schwingungen versetzte Vorrichtung zugleich die schreibende ist und dass sie ohne grosse Umstände in Betrieb gesetzt werden kann.

4. Zeitvermerkung auf der Curve.

Soll die Zeitdauer eines graphisch dargestellten Vorganges oder eines Theiles desselben ermittelt werden, so hat man dies mittelst des der Curve entsprechenden Abschnittes des gleichzeitig aufgeschriebenen Chronogrammes zu thun. Zu diesem Zwecke muss eine Anzahl von Linien gezogen werden, die den Anfangs- und Endpunkt der Curve, erforderlichen Falles auch gewisse Wendepunkte u. s. w. derselben auf die chronographische Linie projiciren. Man hat nun neuerdings Verfahren ersonnen, welche die zeitliche Auswerthung von Curvenzeichnungen dadurch erleichtern, dass die Zeitmarken direct auf der Curve angebracht werden.

Funkenchronographie.

Das eine dieser Verfahren ist die Funkenchronographie. Anfänglich nur zur Markirung bestimmter einzelner Zeitpunkte (s. später II. Cap.) und zu gewissen mehr physikalischen Zwecken benutzt, ist sie in die physiologische Praxis durch Grashey eingeführt worden. Das Princip dieser Methode möge durch das Schema Fig. 113, erläutert werden.

In dieser Abbildung ist *cy* ein Registrircylinder, auf welchen die Luftkapsel *k* den Herzstoss oder den Arterienpuls zeichnen soll; *st* ist eine elektrische Unterbrechungsgabel, die den vom Element *e* gelieferten Strom 50 Mal in der Secunde schliesst und öffnet. In diesen Kreis ist die primäre Rolle eines Ruhmkorff'schen oder Stöhrer'schen Funkeninductors *f* aufgenommen. Die secundäre Rolle steht einmal mit dem bewegten Cylinder, etwa mit dessen Axe, zweitens mit dem Schreibhebel in Verbindung. Ist dieser, wie gewöhnlich, aus einem nicht leitenden Material hergestellt, so ist die metallene Spitze durch

einen bis zu ihr geführten Draht mit dem Inductionsapparat zu verbinden. Dieser Draht muss so beschaffen sein, dass er die Bewegungen des Hebels in keiner Weise hindert. Man benutzt dazu den feinsten übersponnenen Kupferdraht oder noch besser einen Lamettafaden.

Setzt man nun die Stimmgabel in Bewegung, so markirt sich ein jeder Oeffnungsinductionsfunke, der von der Schreibhebelspitze durch das berusste Papier zum Metall des bewegten Cylinders überspringt, als ein weisser, runder Fleck, indem er in kleinem Bereiche den Russ

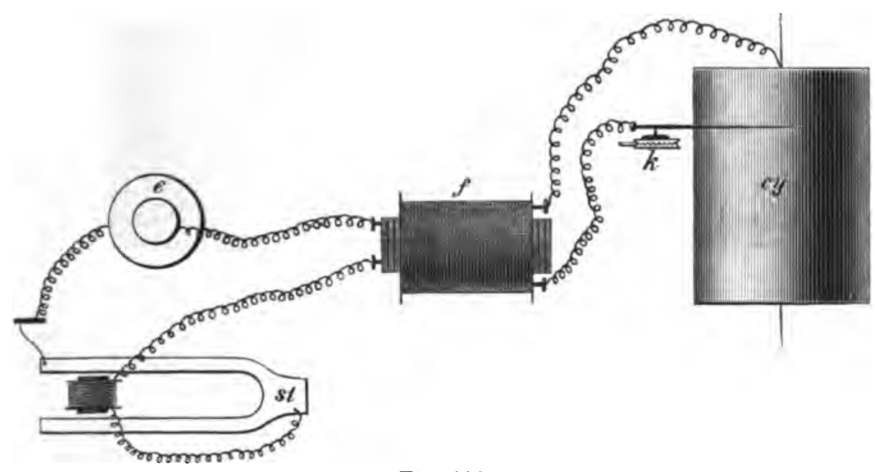


Fig. 113.
Schema der Funkenchronographie.

hinwegfegt resp. verbrennt. In unserem Falle, in welchem die Stimmgabel 50 Stromunterbrechungen in der Secunde gibt, würde die durch die Schreibkapsel dargestellte Curvenzeichnung 50 solcher Marken in jeder Secunde erhalten, und der Abstand zwischen zwei Zeitmarken 0·02 Sec. entsprechen.

Es ist begreiflich, dass eine solche Markirungsweise sehr bequem sein muss, wenn man den zeitlichen Ablauf eines Bewegungsvorganges einer näheren Analyse unterwerfen will. In der hier als Probe mitgetheilten Aufzeichnung (Fig. 114), die einer neueren Arbeit von v. Ziemssen und Maximowitsch entnommen ist, handelte es sich um die Aufzeichnung von Herzstosscurven, bei deren Discussion dem zeitlichen Abstand gewisser ausgezeichneter Punkte von einander ein besonderer Werth zugemessen werden muss. Da hier die unterbrechende Stimmgabel auf 36 Schwingungen in der Secunde abgestimmt war, stehen die einzelnen Marken um je 0·028 Sec. von einander ab.

Das Verfahren der Funkenchronographie ist indessen nicht ganz einfach und macht mancherlei Vorsichtsmassregeln nöthig. Benutzt man zu schwache Inductionsschläge, so hat man mit öfterem Versagen des Oeffnungsfunkens zu kämpfen; sind sie zu stark, so durchlöchern sie das Papier und greifen das Metall des Cylinders an. Die Funken springen ferner nicht immer auf dem kürzesten Wege zwischen Schreibspitze und Cylinder über; die Marken können dadurch z. Th.



Fig. 114.
Herzstosscurven mit zeitmessenden Funkensignalen (nach v. Ziemssen und Maximowitsch.)

ausserhalb der Curvenzeichnung fallen. Bei Verwendung grosser Cylindergeschwindigkeit wird man sich auch zu erinnern haben, dass ein scheinbar einzelner Oeffnungsfunke aus einer Reihe von Funken besteht (Donders und Nijland). Durch die Hand eines vorsichtigen Experimentators lassen sich indessen diese Hindernisse so weit besiegen, dass das Verfahren nicht nur bequem, sondern auch zuverlässig wird. [1])

Aufzeichnung der Curven auf die schwingende Stimmgabelplatte.

Aehnliche Vortheile, wie die Funkenmarkirung ergibt die Methode der Curvenzeichnung auf die „schwingende Stimmgabelplatte", die durch Landois eingeführt ist, nachdem schon Hensen und dessen Schüler Klünder sowie auch einige andere Forscher sie in anderer Form benutzt hatten. Hier schreibt man die Curve auf eine an der einen Zinke einer Stimmgabel befestigte Platte. Da diese

[1]) Natürlich ist die Funkenchronographie auch für die Aufschreibung grösserer Zeitintervalle brauchbar. Durch Verbindung des Inductors mit einem der oben beschriebenen stromunterbrechenden Secundenpendel könnte man Secunden, Doppelsecunden u. s. w. leicht markiren. Dass sich die Schwingungszahl chronographischer Stimmgabeln durch Anbringung solcher Secundenmarken auf der Schwingungscurve bestimmen bez. controlliren lässt, wurde bereits oben erwähnt.

letztere in der Periode der Stimmgabel, also mit einer bestimmten Secundenfrequenz oscillirt, empfängt die auf sie gezeichnete Curve einen Eindruck davon in Gestalt kleiner Zacken oder Zähnchen, die um so dichter aneinander rücken, je schneller die Gabel schwingt oder je langsamer Platte und Schreibstift sich gegeneinander verschieben. Die Secundenbruchtheile werden also auch hier auf der Curve selbst verzeichnet. Die Zeitberechnung ist deshalb eine sehr einfache, und das Aussehen solcher Curvenzeichnungen recht anschaulich. Ich wende dieses Verfahren in folgender Weise an.

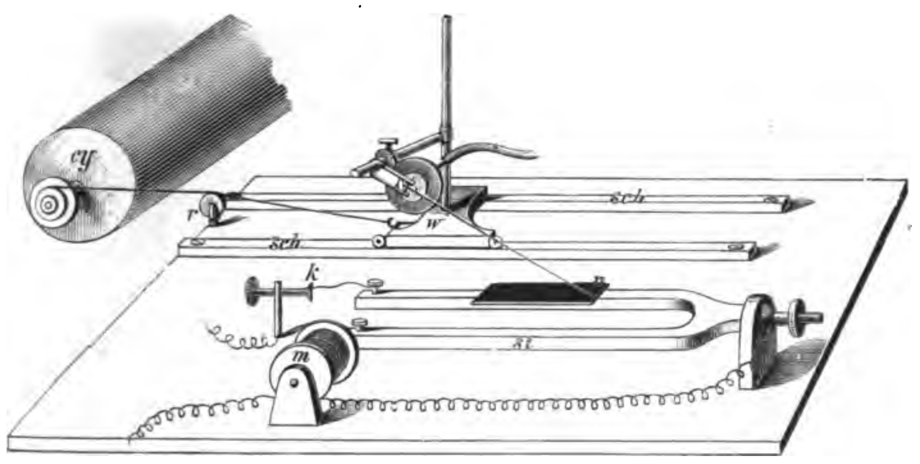


Fig. 115.
Aufzeichnung von Curven auf die schwingende Stimmgabelplatte.

In Fig. 115 ist *st* eine durch den Electromagnet *m* in selbstthätiger Schwingung erhaltene Stimmgabel, die 50 oder 64 Schwingungen in der Secunde macht. Auf der einen Zinke ist die mit Russ oder auch mit berusstem Papier überzogene Platte *p* angebracht, (ich verwende dazu einen grösseren Objectträger). Nöthigenfalls hat man deren Gewicht durch ein auf die andere Zinke aufzusetzendes Laufgewicht zu compensiren. Parallel der Stimmgabel liegen, auf dasselbe Grundbrett aufgeschraubt, zwei metallene Schienen *sch*, *sch*, auf denen der schwere mit kleinen Rädern versehene Wagen *w* läuft. Derselbe trägt eine Messingstange, auf welcher in der aus der Figur ersichtlichen Weise der Schreibapparat (hier eine Marey'sche Zeichenkapsel) angebracht wird. Am Wagen ist eine über eine Rolle *r* gehende Schnur befestigt, die sich auf eine kleine Stufenscheibe aufwickelt, welche auf die Axe eines horizontalen Kymographioncylinders (*cy*) aufgekeilt ist. Wird der letztere in Gang gesetzt, so fährt der Wagen

an der Stimmgabel vorbei. Der Schreibhebel, der sich also hier an der Registrirplatte vorbei zu bewegen hat, während sonst meistens die Registrirfläche bewegt wird, der Zeichenapparat aber feststeht, kann jetzt seine Curve auf die vibrirende Platte aufzeichnen.

Fig. 116 gibt ein Beispiel der zierlichen, auf diese Weise gewonnenen Zeichnungen.



Fig. 116.
Karotidenpulse, auf die oscillirende Stimmgabelplatte gezeichnet.

Es sind hier Karotidenpulse dargestellt, die vermittelst des Kardiographen auf die oscillirende Platte gezeichnet wurden. Die dabei benutzte Unterbrechungsstimmgabel machte 64 Schwingungen in der Secunde.

Markirung von Stimmgabelschwingungen auf der Curve durch Luftübertragung.

So bequem und genau das Verfahren von Landois auch ist, so haften ihm doch auch gewisse Mängel an. Man ist gezwungen, mit einer gewissen nicht ganz leicht zu wechselnden Geschwindigkeit auf eine zur Aufnahme nur weniger Curven Platz bietende Platte zu zeichnen, während man gewöhnt ist, zu solchen Zwecken einen geräumigen Cylinder zu benutzen, dessen Umdrehungsgeschwindigkeit leicht und in weiten Grenzen verändert werden kann. Auch die Vorbeiführung des Schreibapparates ist umständlich; noch umständlicher ist die von Manchen vorgezogene Vorbeibewegung der die Platte tragenden Stimmgabel vor der zeichnenden Spitze.

Aus diesen Gründen dürfte das folgende, von mir seit einiger Zeit geübte chronographische Verfahren gewisse Vorzüge vor dem geschilderten haben, während es zugleich demselben Zweck, der Erleichterung der zeitlichen Ausmessung der Curve, dient. Allerdings ist es nur bei solchen graphischen Darstellungen verwendbar, bei denen die Luftübertragungsmethode zur Benutzung kommen kann.

Dieses Verfahren beruht darauf, dass man der zur Uebertragung der zu zeichnenden Bewegung auf die Marey'sche Zeichenkapsel die-

nenden Luftmasse die Bewegungen einer selbstthätig schwingenden Stimmgabel mittheilt. Diesem Zwecke dient folgende in Fig. 117 dargestellte Anordnung.

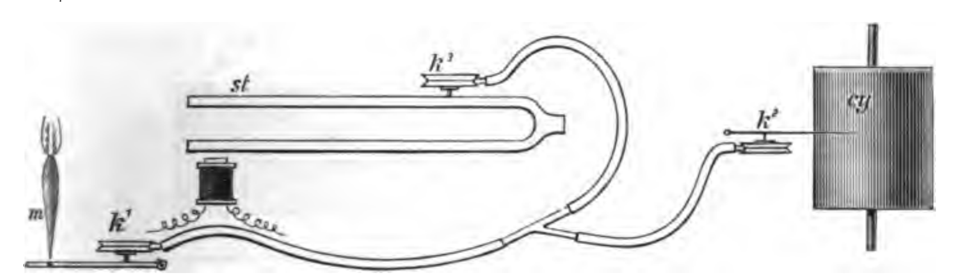


Fig. 117.
Verfahren zur Uebertragung von Stimmgabelschwingungen auf Muskelcurven.

Sei *m* ein vertical befestigter Muskel, der an der Aufnahmekapsel k^1 eines Marey'schen Transmissionsmyographen befestigt ist. Die durch seine Zusammenziehung in Thätigkeit gesetzte Schreibkapsel k^2 zeichnet die Curve auf den Cylinder *cy*. Der zu dieser Kapsel gehende Schlauch gibt aber vermittelst eines Gabelrohres einen Zweig ab zu einer dritten Kapsel k^3, die in passender Weise an die eine Zinke der automatischen Stimmgabel *st* sich anlehnt. Die Schwingungen der letzteren werden demgemäss auf den Uebertragungsluftstrom einwirken, und die aufgezeichnete Curve wird die Marken der Stimmgabelschwingungen in der Form kleiner Zähnchen erhalten müssen.



Fig. 118.
Einzelzuckung und Tetanus des Musc. gastrocnemius. Transmissionsmyograph. Chronographie nach dem in Fig. 117 erläuterten Verfahren. Die Unterbrechungsstimmgabel machte 150 Schwingungen in der Secunde.

Fig. 118 *a* und *b* stellen die zierlichen Bilder dar, die man auf diese Weise von der Einzelzuckung eines Froschmuskels und vom Tetanus erhält. In *a* war eine Stimmgabel von 150 Schwingungen p. Sec. verwendet. Durch Auszählung der Zacken erkennt man sofort, dass die Zuckung etwa $\frac{30}{150} = 0{\cdot}2$ Sec. gedauert hat.

Setzt man an Stelle des Myographen einen Kardiograph, so kann man auch Herz- und Pulscurven auf diese Weise aufzeichnen. Die in Fig. 119 wiedergegebene Zeichnung, welche Karotidenpulse dar-

stellt, und bei welcher eine elektrische Stimmgabel von 50 Schwingungen verwendet worden war, möge davon ein Beispiel geben.

Soll das Verfahren brauchbare Ergebnisse liefern, so dürfen gewisse Vorsichtsmassregeln nicht ausser Acht gelassen werden. Die Kapsel k^1 soll so fest der Stimmgabel anliegen, dass sie beim Gange



Fig. 119.

Karotidenpulse, mit dem Kardiograph aufgenommen. Der Schreibhebel wird durch eine 50 Schwingungen p. Sec. machende Stimmgabel in Vibration versetzt.

derselben kein Klirren verursacht und dass sie bei Ausführung der aufzuschreibenden Bewegung, die ja den Druck in dem Schlauchsystem erhöht, nicht merklich stärker gegen die Gabel angedrückt wird. Am besten verwendet man für sie eine aus wenig nachgiebigem Pergamentpapier verfertigte Membran. Zu beachten ist ferner — und das gilt auch für die vorher beschriebene Methode, — dass man die chronoskopischen Zacken nie so gross werden lassen darf, dass sie die Feinheiten der aufgeschriebenen Curven undeutlich machen. Man lehnt deshalb die Aufnahmekapsel k^3 am besten an einen vom freien Ende der Gabelzinke weit entfernten Punkt derselben an. Die Verbindung von Kapsel und Gabel kann in ähnlicher Weise hergestellt werden, wie bei dem in Fig. 106 (S. 134) dargestellten Verfahren.

Zweites Capitel.

Signalschreibung.

Bei graphischen Aufzeichnungen wird nicht selten die Markirung bestimmter Momente oder die Abgrenzung gewisser Zeiträume nöthig. Man wünscht z. B. den Zeitpunkt festzuhalten, in welchem ein Inductionsschlag den seine Zuckung aufschreibenden Muskel trifft. Oder man verzeichnet die Athembewegungen und will den Einfluss einer einige Secunden fortgesetzten Nervenreizung auf dieselben studiren. Zur genauen Beurtheilung des Reizerfolges wird es nöthig sein im ersten Falle den Moment, im zweiten Beginn und Ende der Reizung auf oder unter der Curve zu vermerken.

I. Gröbere Hilfsmittel.

Handelt es sich in solchen Fällen nur um eine gröbere Veranschaulichung der betreffenden Momente oder Intervalle, nicht um genaue Messungen, so genügt es oft, auf der sich eben aufzeichnenden Curve mit der Hand durch Striche, Häkchen, Kreuze die geschehenen Eingriffe zu markiren. Der Experimentator selbst oder sein Gehilfe kann z. B. während der Aufschreibung des arteriellen Blutdruckes durch verabredete Zeichen auf der Curve die Athmungsphasen mit einiger Genauigkeit angeben. Die Dauer einer Nervenreizung kann man in der Weise grob markiren, dass man auf den bewegten Cylinder Zeichen anschreibt und, währenddem man das thut, dem Gehilfen Schliessung resp. Oeffnung des Stromes commandirt. Manchmal ist es zweckmässiger, die Marken schon vorher auf einer noch unbeschriebenen Stelle des berussten Cylinders anzubringen und die Reizung oder den sonst etwa beabsichtigten Eingriff in dem Momente zu beginnen, in welchem die sich aufschreibende Curve den Signalstrich passirt. Man ist dann der Hilfe eines Assistenten überhoben.

Alles das sind aber Nothbehelfe, die nur so lange gestattet sind, als das Bedürfnis einer grösseren Genauigkeit nicht vorliegt. Bei allen exacteren Bestimmungen ist die Verwendung eines eigenen Markirapparates, eines Signalschreibers unumgänglich. Man kann die gebräuchlichen Instrumente dieser Art in solche eintheilen, die auf mechanischem Wege in Action gesetzt werden und in solche, die durch Elektromagnetismus thätig sind. Zu der ersten Kategorie gehört der in den meisten physiologischen Laboratorien gebräuchliche Reizvermerker von Baltzar. Derselbe ist mit einem Zeitschreiber verbunden (s. o.), der aus einem mit der Baltzar'schen Contactuhr in Verbindung zu setzenden Markirmagnet besteht. Reizmarken und Zeitmarken werden so von zwei genau übereinander befindlichen Schreibspitzen oder Zeichenfedern aufgeschrieben.

Fig. 120 gibt eine Abbildung dieses wichtigen Apparates in einer von der allgemein üblichen nur unwesentlich abweichenden Form. *m m* ist der Elektromagnet des Zeitmarkirers; seine beiden Pole sind so abgestutzt, dass beim Durchgang eines Stromes der Anker *aa* sich um die Axe x^1 dreht. Die Gestalt dieses Ankers ist in der Figur dadurch deutlich gemacht, dass die ihn theilweise deckende Messingwand *w* theilweise durchsichtig gedacht ist. Mit dem Anker ist ein dicker Kupferdraht in Verbindung, dessen Ende die Schreibspitze s^1 trägt. Diese Schreibspitze schlägt demnach bei jeder Strom-

gebung aus. Die Stromzuleitung zum Magnetdraht findet durch die Klemmen p und p^1 statt. Hört der Strom auf, so wird der Anker durch eine Spiralfeder wieder in seine Ruhestellung zurückgebracht. Durch die Schraube *sch* kann man diese Abreissfeder stärker oder schwächer anspannen. Mit dem Anker geht die Schreibspitze zurück.

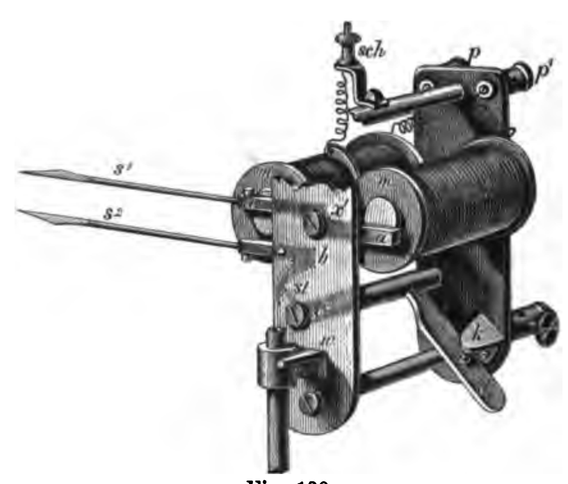


Fig. 120.
Baltzar's Reiz- und Zeitvermerker. (½ nat. Gr.)

Der mit diesem Zeitmarkirer verbundene Reizmarkirer enthält einen Contact k, bestehend aus einem Platinstift, der durch Federkraft an ein über ihm befindliches Platinplättchen gedrückt wird, der sich aber von ihm abhebt, wenn man den Drücker d mit dem Finger nach unten drückt. d steht mit einer horizontalen um die Axe x^2 drehbaren Messingstange in Verbindung. Geht d nach unten, so bewegt sich der mit der Stange verbundene Stift *st* gegen einen um eine Horizontalaxe sich drehenden Winkelhebel h, mit welchem ein die Schreibspitze s^2 tragendes Kupferstäbchen verbunden ist. Die Schreibspitze geht dadurch nach oben. Spiralfedern, welche in der Zeichnung weggelassen worden sind, bewirken, dass, so wie der Druck auf d nachlässt, nicht nur der Contact sich wieder herstellt, sondern auch der Winkelhebel mit seiner Schreibvorrichtung in die Ruhelage zurückkehrt.

Wird der Contact k in einen Stromkreis eingeschaltet, so kann man, wie aus dem Gesagten folgt, den Moment der Stromunterbrechung recht exact auf dem berussten Cylinder vermerken. Von den beiden zum Contact gehörigen Drathklemmen ist in der Figur

nur eine sichtbar. Jede von ihnen ist für die Einspannung von zwei Drähten eingerichtet, so dass der Contact auch als Nebenschliessung benutzt werden kann. Schaltet man ihn als solche in den secundären Kreis eines Schlittenapparates ein, dessen Hammer im Gange ist, so kann man durch Druck auf *d* die Inductionsschläge in den Hauptkreis einbrechen und so lange einen Nerven durchfliessen lassen, bis man den Drücker wieder freigibt. Der Reizvermerker dient also hier zugleich als abblendender Schlüssel. Diese Art der Signalisirung tetanisirender Ströme ist entschieden besser, als die an manchen Orten gebräuchliche Einschaltung eines Schreibmagnetes in den primären Kreis, wobei die Schliessung des primären Stromes mit dem Hammer des Schlittenapparates zugleich den Reizzeichner in Gang setzt.

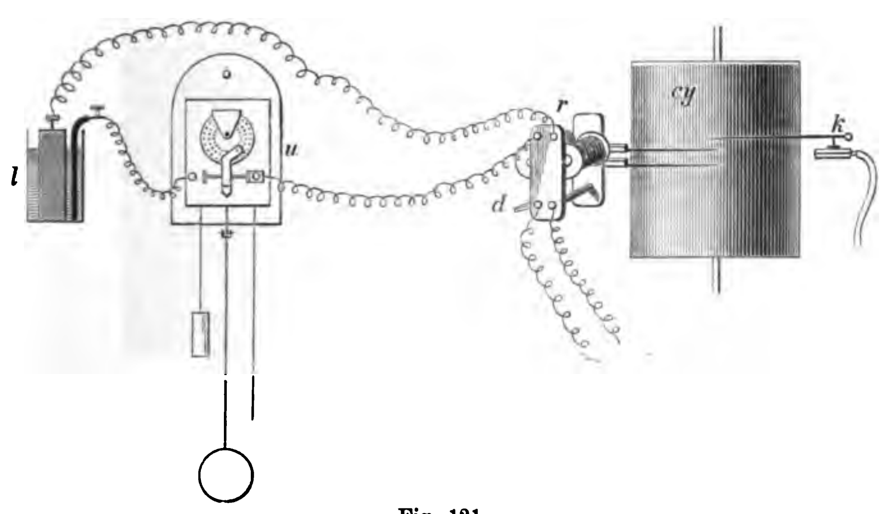


Fig. 121.
Anordnung bei einem Registrirversuch mit gleichzeitiger Zeit- und Reizvermerkung.

In Fig. 121 ist die Versuchsanordnung dargestellt, die man zu treffen hat, wenn man beispielsweise die Athmung u. ä. vermittelst einer Marey'schen Kapsel aufschreiben und gleichzeitig durch den Baltzar'schen Markirapparat sowohl die Zeit registriren als die Zeitdauer gewisser Eingriffe, Nervenreizungen u. s. w. verzeichnen will. *cy* ist der bewegte Cylinder, *k* die Zeichenkapsel; *r* ist der Markirapparat, dessen Zeitschreiber von dem von einem Leclanché-Element (*l*) gelieferten, durch die Contactuhr *u* in bestimmten Zeitintervallen unterbrochenen Strom durchflossen wird. Am Reizverzeichner sind nur zwei Leitungsdrähte gezeichnet. Soll er als Nebenschliessung benutzt werden, was bei tetanisirenden Nervenreizungen immer zu geschehen

hat, so müsste er vier Drähte erhalten, von denen je zwei zu der secundären Rolle des Schlittenapparates, die andern beiden zu den Elektroden zu führen wären.[1])

Fig. 122 gibt ein Beispiel einer solchen Aufzeichnung. Die oberste Reihe enthält Athmungscurven, die zweite das Chronogramm (die Marken entsprechen je 5 Sec.). Die unterste Reihe zeigt an, wann der die Athmung ersichtlich vertiefende und verlangsamende Eingriff begonnen und wie lange er gedauert hat.

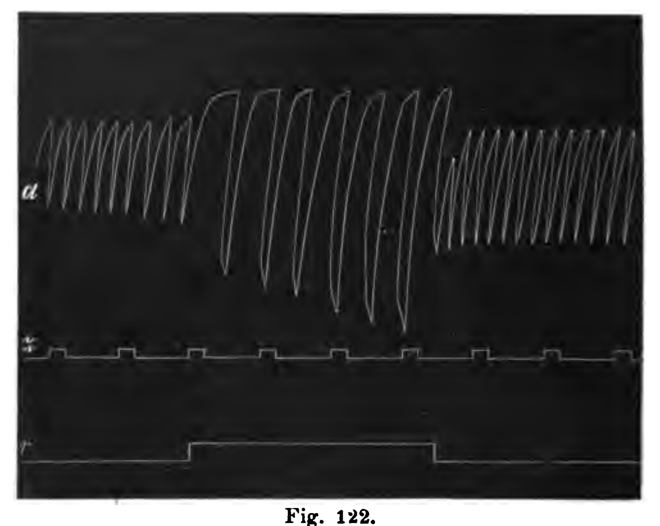


Fig. 122.
a) Athmungscurven. z) Fünfsecundenmarken. r) Reizsignal.

Die Signalisirung bestimmter Vorgänge oder Eingriffe kann auch vermittelst zweier Marey'scher Kapseln vorgenommen werden, deren einer man in dem betreffenden Moment einen Impuls ertheilt, und deren andere ihn auf den Cylinder zeichnet. Natürlich ist ein solches Verfahren nur für gröbere Zwecke brauchbar, und man wird sich bei seiner Anwendung auch der Verzögerung zu erinnern haben, die der Luftübertragungsmethode anhaftet.

Einer sehr allgemeinen Anwendung sind die elektromagnetischen Signalvorrichtungen fähig. Ihre Anwendung beruht darauf, dass in dem zu markirenden Moment ein durch einen Schreib-

[1]) Natürlich können auch andere Eingriffe, als elektrische Reizungen, mittelst des Markirapparates vermerkt werden, so z. B. der Moment, in welchem man die Injection eines Giftes in eine Vene vornimmt, die Dauer einer Gefässcompression, die Einleitung künstlicher Athmung u. a. m. In dem Augenblick, in welchem der Eingriff geschieht, drückt man den Contacthebel nach unten.

M a g n e t geleiteter Strom geschlossen oder geöffnet wird. Für viele Beobachtungen reicht dafür eine beliebige elektromagnetische Vorrichtung, die mit einer Schreibfeder versehen wird, ein Wagner'scher Hammer u. dgl. aus. Für feinere und feinste Bestimmungen ist eine weit grössere Präcision der Signalverzeichnung nothwendig; hier muss man sich des von M a r e y und D e p r e z angegebenen Signal électrique oder des von K r o n e c k e r und P f e i l erfundenen Markirapparates bedienen.

II. Mittel zur exacteren Signalschreibung.

Die früher beschriebene Methode der F u n k e n c h r o n o g r a p h i e kann in manchen Fällen auch zur exacten Vermerkung einzelner hervorzuhebender Zeitmomente auf der dargestellten Curve verwendet werden. Wir werden später sehen, dass für gewisse Zwecke D o n d e r s von ihr Gebrauch gemacht hat. Wie man hierbei zu verfahren hat, braucht hier nicht noch einmal gesagt zu werden.

Eine weit grössere Verbreitung haben die oben erwähnten elektromagnetischen Signale gefunden.

1. Elektrische Signale.

Fig. 123 zeigt das D e p r e z ' s c h e S i g n a l in der ihm jetzt von V e r d i n gegebenen Gestalt. *m* ist ein kleiner mit sehr feinem Draht versehener Hufeisenmagnet, dessen beiden Polen gegenüber ein mit der Schreibfeder *s* versehener Anker um eine horizontale Axe beweglich ist. Die Drähte d^1 und d^2 führen den Signalstrom zu

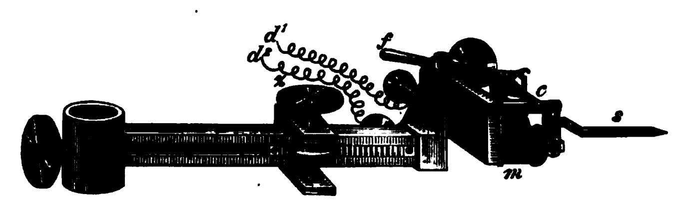


Fig. 123.
Signal Deprez nach Verdin. ($^2/_3$ nat. Gr.)

zwei mit den Enden des Magnetdrahtes verbundenen Klemmschrauben. Ist Strom vorhanden, so zieht der Eisenkern den Anker an, und die Schreibspitze macht einen Ausschlag nach unten. Wird der Stromkreis geöffnet, so zieht eine Spiralfeder den Anker und damit die Feder zurück in die Ruhestellung. Mittelst des Conus *c* kann die Grösse der Ankerbewegung, durch den Fortsatz *f* die Spannung der Abreissfeder variirt werden. Die früheren Constructionen dieses Instrumentes

wichen etwas von der gegenwärtigen ab (s. Marey, Méthode graphique Fig. 66 p. 140); insbesondere befand sich hier an Stelle der Spiralfeder ein Gummifaden. Ich selbst habe ihn schon vor mehreren Jahren durch eine Messingspirale ersetzt.

Durch die mit *z* verbundene Triebvorrichtung kann die Länge des Instrumentes vermehrt und vermindert, die Schreibspitze vorgeschoben und zurückgezogen werden. Die Form des überaus werthvollen Apparates macht ihn besonders zur Anbringung neben anderen Schreibvorrichtungen, insbesondere Marey'schen Zeichenkapseln, geeignet.

Seine Leistungen werden, wie es scheint, nur von dem elektrischen Markirapparat von Kronecker und Pfeil (auch das Pfeil'sche Signal genannt) erreicht oder übertroffen.

Dieser Apparat (Fig. 124), beruht auf dem Princip des Telephons. Den Polen des kleinen Elektromagnetes *m* gegenüber befindet sich eine dünne als Anker dienende Stahlplatte *p*, deren Enden mit zwei Stützpfeilern fest verbunden sind. Die Ankerplatte verbindet ein senkrechter Stift mit einem um das Axenlager *a* beweglichen Schreibhebel *h*. Das Gegengewicht *g* compensirt die Schwere des langen Hebelarmes. Der Magnet kann durch die Schraube *s* dem Anker genähert oder von ihm entfernt werden. Geht der Strom durch die Windungen des Magnetes, so nähert sich diesem die Ankerplatte; da sie ihn aber nie berührt, wird die Verzögerung des Rückganges bei der Öffnung auf ein Minimum zurückgeführt. Die Tangentialschraube *t* regulirt die Einstellung der Schreibspitze gegen die Schreibfläche.



Fig. 124.
Pfeil'sches Signal (nach Kronecker verkleinert. 1/2 nat. Gr.)

Die Bequemlichkeit und die Empfindlichkeit dieses Markirapparates wird sehr gerühmt. Vor dem Deprez'schen Signal hat er auch den Vorzug, dass der Draht seines Elektromagnets nicht so fein ist, wie bei diesem; man kann daher auch starke Ströme hindurchschicken, ohne dass man Gefahr läuft, den Draht durchzubrennen.

2. Verbindung von elektrischen Signalen mit Zeitschreibern.

Da neben den elektrischen Marken meistens auch die Zeit aufgeschrieben werden muss, ist es oft bequem, Vorrichtungen zu benutzen, an denen ein Signalmagnet mit einem chronographischen Mag-

net in compendiöser Weise verbunden ist. Ich benutze zu diesem Zwecke ein elektrisches Doppelsignal, das aus zwei sehr kleinen den Deprez'schen ähnlichen Elektromagneten besteht. Fig. 125 stellt diesen Apparat ein wenig unter natürlicher Grösse dar.

Die beiden Markirmagnete m^1 und m^2 sind mit messingenen Abreissfedern versehen; ihre Anker tragen aus Uhrfedern hergestellte Schreibhebel, die durch Vermittlung von Stellschrauben (s^1 und s^2) in der Horizontalebene fein verstellt werden können. Der eine der beiden Schreibmagnete wird zur Aufschreibung der Zeit, der andere zur Signalmarkirung benutzt. Mit dem ersteren kann man sowohl grosse Zeitintervalle, Secunden, Minuten verzeichnen, als auch durch Verbindung mit einer Unterbrechungsstimmgabel kleinere Bruchtheile von Secunden aufschreiben. Der Signalmagnet wird in einen Stromkreis eingeschaltet und vermerkt dann Oeffnung oder Schliessung dieses Stromes. Fig. 126

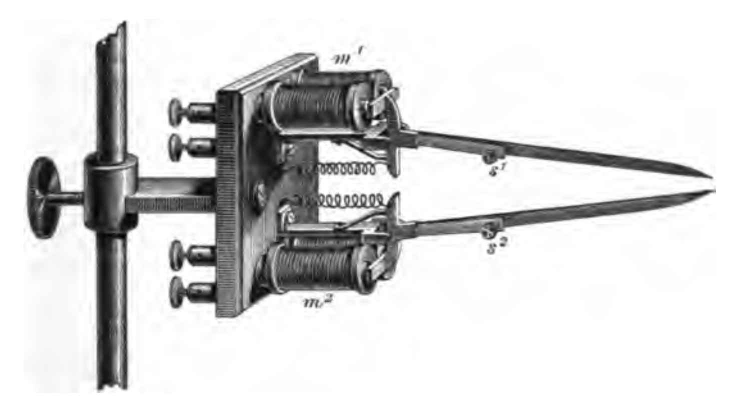


Fig. 125.
Elektrisches Doppelsignal (fast nat. Gr.).

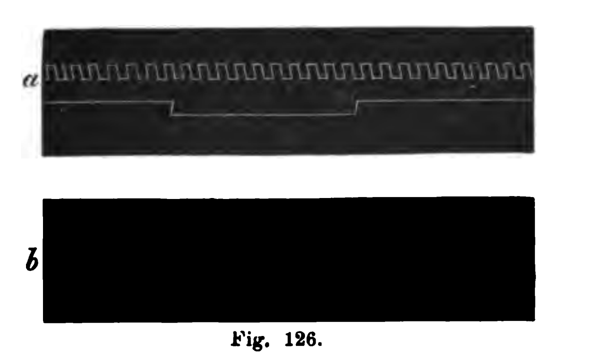


Fig. 126.
Zeitmarken und Signale des Doppel-Markirmagnets.
In *a* und *b* sind die unteren Linien Signalcurven; die chronographischen Aufzeichnungen über denselben entsprechen bei *a* Doppelsecunden, bei *b* $^1/_{50}$ Secunden.

a und *b* gibt zwei Aufzeichnungen wieder, die mit diesem Instrument gemacht sind.

Die unteren Linien sind die Signallinien; die obere bei *a* schreibt Doppelsecunden, die bei *b* gibt die Schwingungen einer elektrischen Stimmgabel wieder, welche einen Strom 50 mal in der Secunde unterbricht.

Natürlich kann man an Stelle eines solchen Apparates auch zwei einzelne Signale verwenden; das Doppelsignal ist aber weniger kostspielig und sehr bequem.

3. Latenzzeit der Signale.

Sollen die elektrischen Signale zu genauen graphischen Messungen benutzt werden, so ist vor allem die Grösse des Fehlers festzustellen, mit der die Angaben derselben behaftet sind. Jedes Signal hat eine gewisse Latenzzeit, eine Schliessungslatenz und eine Oeffnungslatenz, eine Zeit, die von Beginn des Stromschlusses bis zum Beginn der Ankeranziehung verfliesst, und eine Zeit, die für die Entmagnetisirung in Anspruch genommen wird. Diese Latenzzeit sehr klein zu machen, ist bei den beiden hier beschriebenen elektrischen Signalen gelungen; immerhin hat sie doch noch eine bei feineren Zeitbestimmungen nicht zu vernachlässigende Grösse.

Genauere Untersuchungen über dieselbe liegen aus neuerer Zeit von Tigerstedt und von Yeo vor. Schon früher hatte für die von ihm construirten Signale Marcel Deprez den „Retard“ bestimmt.

Für die Entmagnetisirungszeit fand Yeo:

Beim (älteren) Signal Deprez (je nach der Spannung des Gummifadens) 0·0006 bis 0·0009 Secunden.

Bei der Verdin'schen Modification (mit Metallspirale) 0·00086 Sec.

Bei einem nach dem Princip des Pfeil'schen Signals construirten Instrument (Cambridge electric signal) 0·00076 — 0·00086 Sec.

Beim Pfeil'schen Signal selbst 0·00077 Sec.

Tigerstedt dagegen benutzte ein Pfeil'sches Instrument, das eine mittlere Latenzdauer von nur 0·0003 Sec. zeigte.

Die Magnetisirungszeit ist weit inconstanter, als die Entmagnetisirungslatenz. Man wird deshalb bei genauer messenden Versuchen möglichst nur Oeffnungsmarken benutzen. Die Latenzzeit aber auch dieser ist für das benutzte Signal unter den für den Versuch gewählten Bedingungen (bei Verwendung derselben Stromstärke und beim Deprez'schen Signal derselben Federspannung) jedesmal durch eine eigene Versuchsreihe festzustellen.

Man verfährt dabei nach einem von Helmholtz für die Messung der latenten Reizung des Muskels angegebenen Methode. Ein Federmyographion (s. Spec. Theil Abschnitt V), an welchem die vorbeigeschnellte Platte bei Erreichung einer bestimmten Stellung einen Platincontact öffnet, oder jedes andere Myographion, bei dem eine ähnliche Einrichtung getroffen ist, lässt sich zu diesem Zwecke verwenden. Das zu prüfende Signal wird in einen Stromkreis eingeschaltet, welcher den Contact enthält und schreibt mit seiner Schreibspitze auf die berusste Fläche. Führt man zuerst die Platte oder den Cylinder mit der Hand ganz langsam durch die zu durchlaufende Bahn, so wird der Contact langsam geöffnet und man erhält von der Schreibspitze eine dieser Oeffnung entsprechende Marke. Dann führt man die Schreibfläche zurück, schliesst den Contact aufs Neue und lässt der ohne Geschwindigkeit geschriebenen Aufzeichnung eine solche bei voller, natürlich genau zu messender Geschwindigkeit folgen, indem man die Platte durch die Federkraft vorbeischnellen lässt oder das Uhrwerk des benutzten Myographioncylinders in Gang setzt. Die jetzt gezeichnete Marke ist um eine der Grösse der zu messenden Latenzzeit entsprechende Strecke gegen die erst gemachte Marke verschoben.

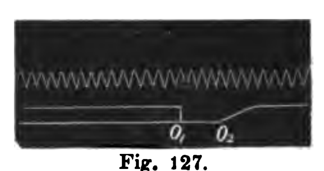


Fig. 127.
Bestimmung der Oeffnungsverzögerung eines elektrischen Signales.

Man erhält auf diese Weise eine Zeichnung wie in Fig. 127. O_1 ist die Marke, die von dem „gereizten“ Signal ohne Geschwindigkeit verzeichnet ist; bei O_2 hebt sich die mit Geschwindigkeit geschriebene Marke von der Ruhelinie ab. Projicirt man die Marken O_1 und O_2 auf die darüber geschriebene chronoskopische Stimmgabelcurve, so ist die Oeffnungslatenz des Signals leicht zu berechnen. Nach demselben Princip hätte man vorkommenden Falles auch die Schliessungslatenz zu ermitteln. Der Contact müsste dann als gutleitende Nebenschliessung zum Signalkreis eingeschaltet werden.

Die ermittelte Signallatenz ist bei der Verwerthung der beim Versuch geschriebenen Marken in Rechnung zu ziehen.

III. Anwendung der elektrischen Signale; Messung kurzdauernder Vorgänge mittelst des Signalverfahrens.

Die Anwendung elektrischer Signale ist eine ziemlich mannigfaltige. Besonders zur Markirung von Einzelreizen, die man durch einen Muskel oder Nerven sendet, werden sie oft verwendet. Man verzeichnet z. B. die Pulsationen eines Froschherzens; in gewissen Phasen der

Herzthätigkeit will man den Herzmuskel von einem Inductionsschlag treffen lassen. Um den Reizungsmoment sicher bestimmen zu können, muss man in den primären Kreis, dessen Schliessung oder Oeffnung den Inductionsschlag erzeugt, ein Signal einschalten, das unter der

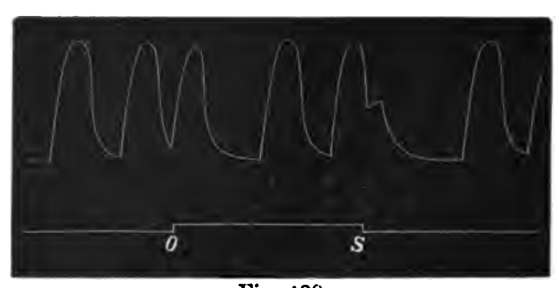


Fig. 128.
Reizung des Herzmuskels durch einzelne Inductionsschläge.

Herzcurve seine Marke macht. So ist beispielsweise die in Fig. 128 wiedergegebene Zeichnung gewonnen. *H* ist die durch einen Fühlhebel geschriebene Herzcurve; bei *O* der darunter gezeichneten Signallinie

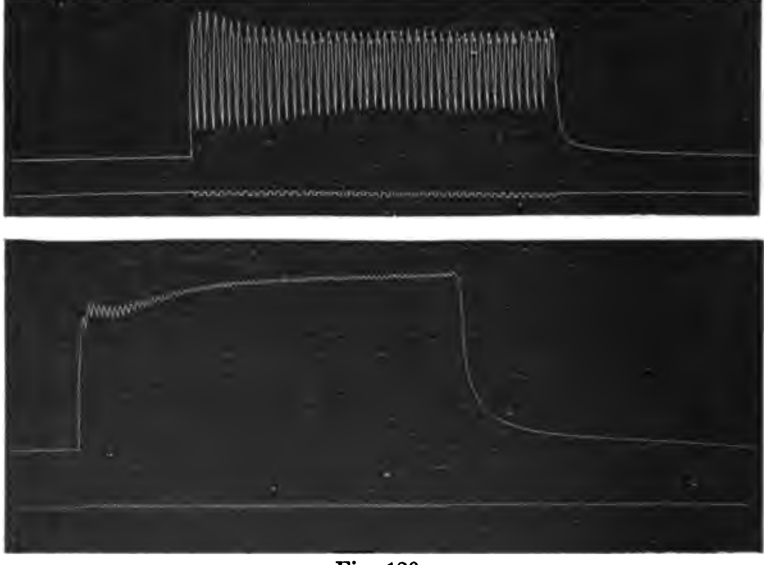


Fig. 129.
Genese des Tetanus. (Nach Marey).

wird der Herzmuskel durch einen Oeffnungsinductionsschlag, bei *S* durch einen Schliessungsschlag gereizt; das erste Mal erfolgt die Reizung fast am Ende, das andere Mal gegen die Mitte der Diastole.

In ähnlicher Weise kann man schnellere oder langsamere Reizfolgen verzeichnen. Beabsichtigt man beispielsweise die zur Erzielung der tetanischen Contraction eines Muskels nothwendige Reizzahl zu ermitteln, so leistet die graphische Aufzeichnung der Reizfrequenz mittelst eines Signals die besten Dienste.

Die beiden Curvenzeichnungen in Fig. 129 stellen die Entstehung des Tetanus durch Fusion der Einzelzuckungen dar. In beiden ist die myographische Zeichnung und die Signallinie wiedergegeben. Die letztere verzeichnete die Zahl der Einzelreize. Man erkennt die ganz unvollständige Verschmelzung der Zuckungen bei der geringen Reizfrequenz der oberen, die fast vollkommene Verschmelzung bei der hohen Reizzahl in der unteren Curve.

Man kann ferner den Wunsch haben, unter einer sich aufzeichnenden Curve gewisse einzelne oder wiederkehrende Beobachtungsmomente zu verzeichnen. Auch hier bedient man sich am besten eines elektrischen Signals. Soll z. B. unter einer Curve des Herzspitzenstosses die zeitliche Wiederkehr der beiden Herztöne genau angegeben werden, so auscultirt man das Herz und markirt die empfangenen Schalleindrücke durch Schliessung resp. Oeffnung eines Schlüssels, der in den Kreis eines von einem galvanischen Strome durchflossenen Signals eingeschaltet ist.

Mit diesen Beispielen ist die Anwendung solcher Vorrichtungen lange nicht erschöpft. Sie können allgemein überall dort mit Vortheil benutzt werden, wo man in der Lage ist, mit irgend einem Geschehnis die Schliessung oder die Oeffnung eines galvanischen Stromes zusammenfallen zu lassen. Kann man den Beginn eines solchen mit der Schliessung, das Ende mit der Oeffnung des Signalstromes coincidiren lassen, so gibt die Signalcurve in leicht verständlicher Weise die Zeitdauer des Vorganges an. Natürlich kann man sich darauf beschränken, nur einen Endpunkt durch das Signal festzustellen, falls der andere in anderer Weise bestimmt ist.

So wird die Signalmethode zu einem werthvollen Hilfsmittel für die Messung kleiner Zeittheilchen, z. B. der Zeit der latenten Reizung des Muskels und der Reactionszeit.

Messung des Latenzzeit des Muskels.

Die Messung der Latenzzeit des Muskels geschieht gewöhnlich, falls überhaupt die graphische Methode dazu benutzt wird, nach den von Helmholtz dafür angegebenen Grundsätzen. Die von ihm angegebene Methode wird in einem späteren Capitel beschrieben werden.

Ihre Anwendung hat zur Voraussetzung das Vorhandensein eines Contactes, der in den primären Kreis des zur Reizung des Muskels dienenden Inductionsapparates eingeschaltet wird, und den der rotirende Cylinder oder die bewegte Registrirplatte selbst öffnet. Der Moment der Reizung lässt sich dann, ähnlich wie in dem S. 157 besprochenen Falle, vor dem eigentlichen Versuch leicht aufzeichnen.

Will man von einer solchen Einrichtung absehen, so kann man den Zeitpunkt der jedesmal vom Experimentator selbst zu besorgenden Reizung in sehr einfacher Weise durch ein in den Reizkreis eingeschaltetes elektrisches Signal unter der Zuckungscurve des Muskels aufschreiben lassen. Man erhält dann eine Zeichnung wie in Fig. 130. Benutzt man für solche Aufzeichnungen einen mit automatischer Senkung versehenen Cylinder, so kann man leicht in kurzer Zeit eine grosse Reihe von Messungen machen.

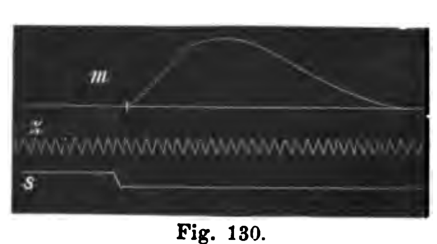


Fig. 130.
Messung der Latenzzeit des Muskels. m die Muskelcurve, z die Zeit (1/256 Sec), s das Reizsignal.

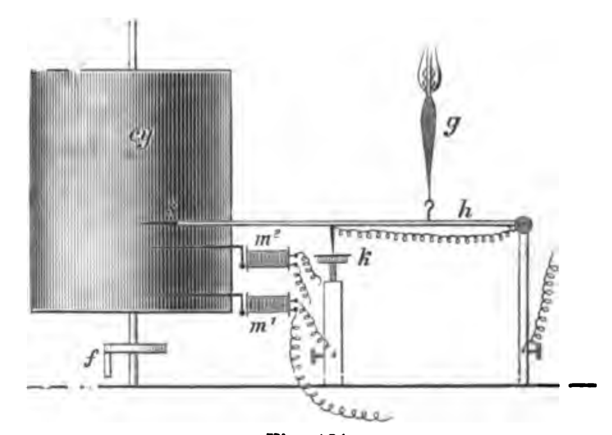


Fig. 131.
Latenzzeit-Messung vermittelst der Signalmethode.

Um die gesuchte Zeit zu berechnen fällt, man eine Senkrechte vom Fusspunkte des Signals und eine zweite von dem der Muskelcurve auf die chronographische Curve und zählt die von den beiden Verticalen eingeschlossenen Stimmgabelzacken aus.

In anderen Fällen ist es bequem, den Reizmoment nach dem Helmholtz'schen Verfahren festzustellen, aber den Zuckungsbeginn durch elektromagnetische Markirung zu bestimmen. Fig. 131 zeigt,

im Anschluss an eine neuerdings von Tigerstedt benutzte Einrichtung, wie man in einem solchen Fall zu verfahren hat.

In dieser Figur ist *cy* der bewegte Cylinder, auf welchen die Schreibspitze *s* des Muskelhebels und die Zeichenfedern der Signalmagnete m^1 und m^2 zeichnen. Der durch eine Feder oder ein Gewicht schwach gespannt zu denkende Muskel *g* hebt bei seiner Zusammenziehung den Hebel *h* und lüftet dadurch einen bei *k* befindlichen, sorgfältig einzustellenden Platincontact. Dieser steht durch die aus der Figur ersichtliche Drahtanordnung in Verbindung mit einem galvanischen Element, in dessen Kreis auch der Signalmagnet m^1 aufgenommen ist; m^2 dient zur Zeitschreibung. Zur Controllirung der Reizwirkung schreibt die am Contacthebel *h* befindliche Zeichenspitze *s* die Zuckungscurve auf; doch wird diese zur Messung nicht benutzt. Die Reizung erfolgt bei der jedesmaligen Umdrehung des Cylinders immer an derselben Stelle, und zwar dadurch, dass der mit der Axe desselben verbundene Fortsatz *f* einen Contact aufschlägt. Die der Reizung entsprechende Stelle des Cylinderumfanges ist dadurch bekannt. Löst nun der Muskel beim Beginn seiner Verkürzung den Contact *k*, so vermerkt das Signal m^1 diesen Moment auf der Trommel. Der Abstand zwischen dieser Marke und dem den Reizmoment anzeigenden Punkte entspricht dann der Grösse der Latenzzeit.

Messung der Reactionszeit.

Zur Messung der Reactionszeit, d. h. der zwischen einem Sinnesreiz und der darauf erfolgenden Antwort verfliessenden Zeit, kann man nach Auerbach und v. Kries folgendermassen verfahren.

In Fig. 132 ist *r r r* der oben beschriebene Reizmarkirer von Baltzar, *m m* ein Signalmagnet. Der Reiz, z. B. ein als optisches Zeichen dienender elektrischer Funke, wird durch Druck auf den Drücker des Reizmarkirers ausgelöst, indem dadurch der an diesem befindliche Contact gelöst wird. Die Schreibspitze zeichnet den Reizmoment auf den Cylinder *cy*. Die Person, welche den Reiz empfängt, hat die Aufgabe, sofort, nachdem sie ihn wahrgenommen hat, einen mit dem Zeichenmagnet *m* verbundenen Signalkreis zu öffnen. So erhält man wieder zwei horizontal gegen einander verschobene Marken; die Grösse der Verschiebung entspricht der zu messenden Reactionszeit.

Donders mass die Reactionszeit nach der folgenden sehr sinnreichen Methode. Eine chronoskopische Stimmgabel schreibt auf den rotirenden Cylinder. Den Moment der Reizung verzeichnet auf der Stimmgabellinie ein von dem metallenen Schreibfederchen zum Cylinder

überspringender Inductionsfunke, der zugleich als optischer oder akustischer Reiz oder, indem man einen kleinen Theil der Entladung durch den Körper schickt, als Gefühlsreiz dient. Das Zeichen, mit welchem die Versuchsperson reagirt, wird ebenfalls auf der chronoskopischen Linie und zwar mit der Hand, unter Zuhilfenahme einer sehr einfachen, nicht elektromagnetischen Schreibvorrichtung angegeben. Die gesuchte Zeitdauer kann somit direct in Stimmgabelschwingungen abgelesen werden.

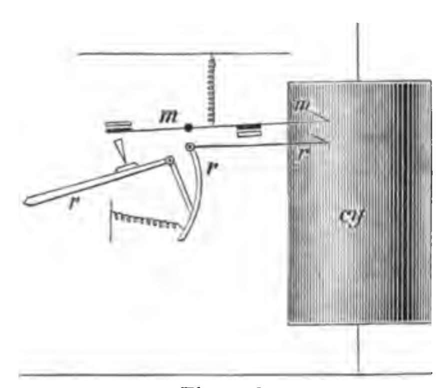


Fig. 132.
Bestimmung der Reactionszeit nach Auerbach und v. Kries.

In Fig. 133 entsprechen die Stimmgabelschwingungen hundertstel Secunden. In *a* bricht der Reiz ein, in *b* erfolgt die Reaction der Versuchsperson. Man sieht, dass zwischen Reiz und Reaction fast 9 Stimmgabelschwingungen liegen, d. h. dass die Reactionszeit nicht ganz 0·09 Sec. betragen hat.

Donders benutzte zu den Aufzeichnungen eine Phonautographentrommel (s. o. Seite 30); den ganzen Apparat nannte er Noëmatachograph.

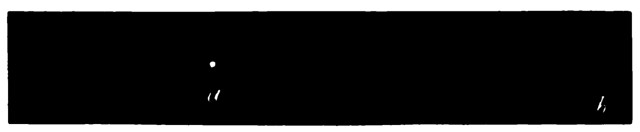


Fig. 133.
Messung der Reactionszeit nach dem Verfahren von Donders.

Ein Instrument, das eine ähnlich bequeme Ermittelung der Reactionszeit gestattet, bei welchem aber elektrische Marken überhaupt nicht angewendet werden, ist das Neuramöbimeter von Sigm. Exner. Hier misst man den betreffenden Zeitraum durch die Zahl von Schwingungen, die eine abgestimmte Feder auf einer vorbeigeführten Glasplatte zwischen Reiz und Reaction ausführt.

Es sei hier endlich noch ein Verfahren beschrieben, dessen ich mich zu ähnlichen Zwecken zu bedienen pflege. m^1, m^2, m^3 in Fig. 134 sind drei Signalmagnete, von denen der eine dem chronographischen Kreis (mit Element e^1), der zweite dem Reizkreis (mit

Element e^2), der dritte dem Signalkreis (mit Element e^3) angehört. Der die Zeit schreibende Strom bewegt die Unterbrechungs-Stimmgabel *st*; der Signalkreis enthält den mit festem Punktcontact versehenen Schlüssel s^5. Ein ähnlicher Schlüssel (s^2) befindet sich im Reizkreis, welcher ausserdem die primäre Rolle eines Schlittenapparates r^1 aufgenommen hat.

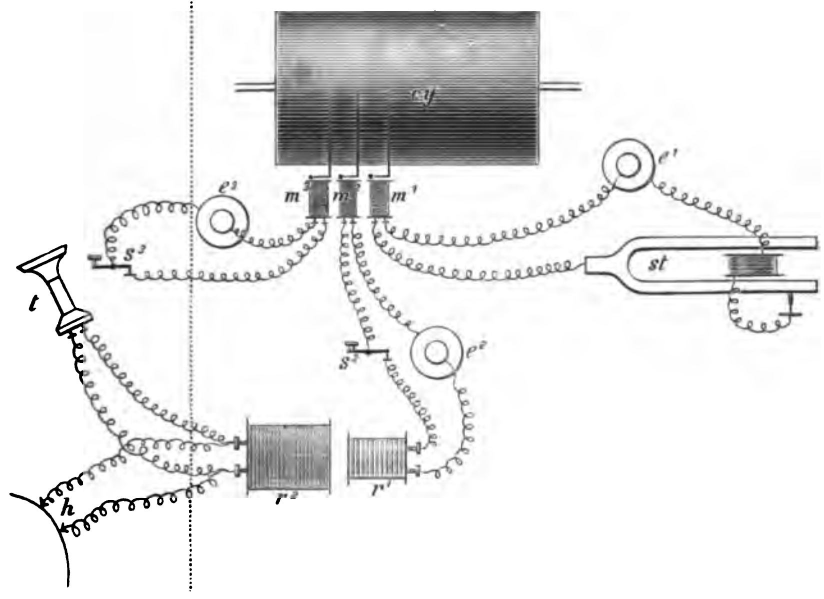


Fig. 134.
Verfahren zur Messung der Reactionszeit.

r^2 ist die zugehörige secundäre Rolle; mit ihr ist entweder ein zur Ertheilung akustischer Reize dienendes Telephon *t* oder ein auf die Haut der Versuchsperson zu setzendes Elektrodenpaar *h* verbunden. *cy* ist der horizontal liegende Cylinder, der entweder sich selbst bei seinen Umdrehungen zugleich in der Axenrichtung verschiebt, oder bei welchem ein die Signalmagnete tragender Wagen parallel zur Cylinderaxe sich vorbeibewegt. Der Experimentator befindet sich in dem den Cylinder, die Stimmgabel, den Reizcontact und den Schlittenapparat enthaltenden Zimmer; die Versuchsperson mit dem Signalcontact s^3 und den Reizvorrichtungen (Telephon, Elektroden) in einem möglichst entfernten Raum. Die beiden Gebiete sind in der Zeichnung durch eine punktirte Linie von einander getrennt.

Die Reizung geschieht durch Oeffnung des Schlüssels s^2, wodurch der Versuchsperson entweder ein Oeffnungsinductionsschlag ertheilt oder mittelst des Telephons ein Gehörsreiz zugeführt wird. Die Reiz-

stärke lässt sich in beiden Fällen innerhalb weiter Grenzen durch Verschiebung der Inductionsrolle verändern.

Die Versuchsperson hat die Aufgabe, in dem Augenblick, in welchem sie den Reiz wahrnimmt, den Schlüssel s^3 zu öffnen, also ein Reactionssignal vermittelst des Schreibmagnetes m^3 zu zeichnen, während dem Magnet m^2 die Aufgabe zufällt den Reizmoment anzumerken.

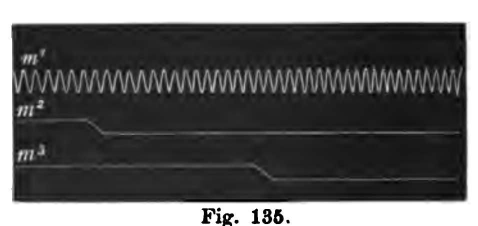


Fig. 135.
Messung der Reactionszeit nach der in Fig. 134 erläuterten Methode.

Jedem Versuch entsprechen dann drei Reihen: die zeitmessende Stimmgabelcurve, die Reizsignallinie und die Reactionslinie: m^1, m^2 und m^3 in Fig. 135.

Der Horizontalabstand der von m^2 und von m^3 verzeichneten Signale, dessen Werth die entsprechenden Stimmgabelzacken angeben, ist der Ausdruck für die zwischen Reiz nnd Reaction verflossene Zeit.

Zweiter Abschnitt.

Graphische Untersuchung der Herzthätigkeit.

Erstes Capitel.

Froschherz.

Das Herz des Frosches oder das anderer kaltblütiger Thiere, z. B. der Schildkröte, kann den Gegenstand registrirender Versuche bilden, während es, vom Blutstrom des lebenden Thieres gespeist, die ihm zukommende Function ausübt; es kann aber auch ausgeschnitten und künstlich durchblutet zu graphischen Untersuchungen dienen; ja sogar an dem noch im blutleeren Zustand lange lebensfähig und functionstüchtig bleibenden isolirten Herzen vermag man noch mancherlei werthvolle Aufschlüsse zu gewinnen.

I. Verwendung von Fühlhebeln und Zughebeln zur Aufzeichnung der Bewegungen des Froschherzens.

Die Schläge des ausgeschnittenen Frosch- oder Schildkrötenherzens werden am einfachsten vermittelst eines Fühlhebels graphisch dargestellt. Aus einem Strohhalm, den man mit einer Nähnadel so durchbohrt, dass er sich um sie als Axe dreht, und aus einem Korkstücke, in das die Nadel hineingesteckt wird, kann man sich eine solche Vorrichtung improvisiren. Höheren Ansprüchen genügt der kleine in Fig. 136 dargestellte Apparat. Auf einem Stativ ist der um seine Axe ohne Reibung bewegliche sehr leichte Fühlhebel *h* befestigt. Das mit dem kleinen senkrechten Fortsatz verbundenen Plättchen *p* ruht ohne grösseren Druck auf dem Herzen. Dieses hinwiederum wird von einem aus mattgeschliffenem Glas verfertigten Tischchen *t* getragen, welches sich sowohl horizontal als vertical verstellen lässt. Die rauhe Tischplatte verhütet Verlagerungen. Bringt man auf ihm einen kleinen Stanniolstreifen an und sorgt man dafür, dass auch das Plättchen *p* wenigstens theilweise metallisch das Herz berührt,[1]) so kann

[1]) Man erreicht dies leicht dadurch, dass man das Plättchen mit einem Stanniolstreifen versieht, welcher vermittelst eines sogenannten Lamettafadens mit dem einen Pole der Stromquelle verbunden wird. Die Bewegung des Hebels wird durch diesen äusserst leichten und nachgiebigen Leitungsdraht nicht im geringsten behindert.

man diesem ohne Schwierigkeiten elektrische Reize zuleiten. Die Stativstange wird am besten mit einer Einstellvorrichtung (s. o. S. 74) versehen, durch die man den Hebel leicht gegen den gedrehten Cylinder verstellen kann, ohne seine Lage zum Herzen zu verändern.

Die Aufzeichnungen, die mit Hilfe dieser Vorrichtung erhalten werden (s. Fig. 137), zeigen, da das Herz bei seiner Contraction sich aufrichtet, die Systolen als Erhebungen, die Diastolen als Senkungen;



Fig. 136.
Fühlhebel für das Froschherz ($^1/_3$ nat. Gr.).

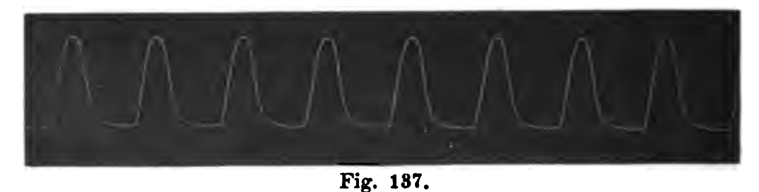


Fig. 137.
Pulse des ausgeschnittenen Froschherzens, vermittelst des Fühlhebels aufgezeichnet.

sie geben eine richtige Vorstellung von der Frequenz des Herzschlages, dagegen nur eine annähernde von der Form und der Stärke der Pulse. Doch gibt dieses Verfahren sogar über die Tonusverhältnisse des Herzens ganz brauchbare Auskunft. So kann man an der Fühlhebelzeichnung leicht das Auftreten jener tetanoiden Zusammenziehung des Herzmuskels verfolgen, die unter dem Namen des Kardiotonus bekannt ist. Ebenso lässt sich, falls mit dem ausgeschnittenen Herzen die Vagi in Verbindung geblieben waren, die hyperdiastolische Er-

schlaffung des Herzmuskels unter dem Einfluss der Reizung dieser Nerven ohne Schwierigkeit nachweisen. Zweckmässiger für Untersuchungen dieser Art wäre freilich die später zu schildernde Methode der kardialen Volumschreibung (s. S. 175).

Soll gleichzeitig die Thätigkeit des Vorhofs und der Kammer aufgezeichnet werden, so bedient man sich, wie das Lauder Brunton und Cash, sowie François-Franck und Andere thaten, eines Doppelfühlhebels. Fig. 138 stellt einen solchen Apparat

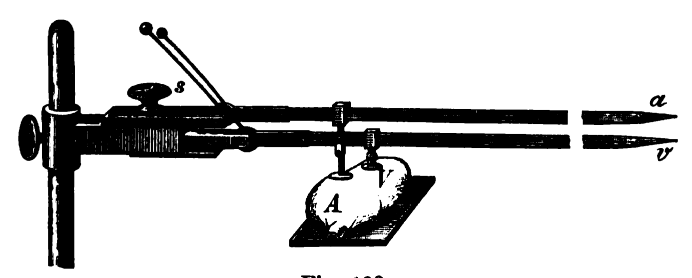


Fig. 138.
Doppelfühlhebel für das Herz, nach François-Franck.

in der von dem letztgenannten Autor benutzten Form dar. Die beiden auf Atrium und Ventrikel eines Schildkrötenherzens aufgesetzten Fühlhebel sind in bekannter Weise äquilibrirt. Der Vorhofshebel ist vermittelst der Schraube *s* verstellbar. Die Einstellung der Schreibspitzen (*a* und *v*) würde sehr erleichtert sein, wenn man sie mit Stirnschreibung versehen würde.

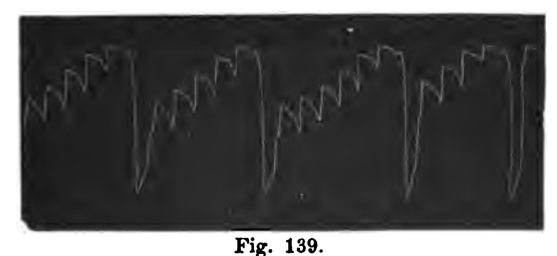


Fig. 139.
Volumpulse der Froschherzkammer, mittelst des Fühlhebels aufgezeichnet.

Man kann den Fühlhebel natürlich auch zur Aufzeichnung der Zusammenziehungen des im lebenden Thier befindlichen Herzens verwenden. Doch ist die Deutung der hierbei gewonnenen Curven dadurch erschwert, dass neben den Contractionszuständen zugleich die Füllungszustände des Herzens auf den Hebel übertragen werden. Unter gewissen Bedingungen zeichnet derselbe geradezu die Volumveränderungen des Herzens auf. In Fig. 139 ist ein Fall dieser Art dar-

gestellt. Es handelte sich um ein Froschherz, dessen Vorhöfe in Folge gewisser Eingriffe weit frequenter schlugen, als der Ventrikel. Auf diesem lag mit breiter Fussplatte der leichte Fühlhebel auf. Man sieht an der Aufzeichnung, wie eine jede durch eine Vorhofsystole bedingte Inhaltsverändeung des Ventrikels sich deutlich markirte. Trat die Kammer-Systole ein, so sank der Hebel, den die vom Vorhof besorgte Herzfüllung successive gehoben hatte, jedesmal steil herab.

Es ist nicht zu bezweifeln, dass die Füllungsveränderungen der Kammer auch in anderen Fällen, in denen ihr Volumen nicht so hoch anwächst, und in welchen das ganze Verhalten ein minder durchsichtiges ist, einen Einfluss auf den Fühlhebel ausüben werden. Bei der Deutung der Zeichnungen ist daher Vorsicht geboten.

Weniger zweideutige Aufschreibungen liefert ein Zughebel, welchen man in der Fig. 45 (S. 59) dargestellten Form verwenden kann. An den über die Rolle geführten Seidenfaden knüpft man eine Art von Angelhäkchen, welches man sich aus einer möglichst feinen Insectennadel hergestellt hat. Dieses hakt man in die Spitze des freigelegten Herzens eines horizontal gelagerten Frosches, den man, wenn angängig, durch Curare unbeweglich gemacht hat, so ein, dass es im Herzfleisch fest haftet, ohne in das Lumen der Kammer einzudringen. Es gelingt das bei einiger Uebung leicht; Blutung darf nicht eintreten. Durch Verschiebung des Frosches oder des ihn aufnehmenden Tischchens lässt sich die Spannung des Fadens und die Stellung des Hebels reguliren. Jede Systole, bei welcher sich die Herzspitze der Herzbasis nähert, zieht dann an dem Hebel; während der Diastole sinkt derselbe seiner Schwere folgend zurück. Sollte er zu leicht sein, so kann man ihn durch kleine Papier- oder Drahtreiter belasten.

Als ein modificirter Fühlhebel ist auch Marey's zur Aufschreibung der Froschherzbewegung bestimmte Herzmuskelzange (Pince myographique du coeur) anzusehen. Der Ventrikel des auf ein Tischchen gespannten Frosches wird hier von den löffelförmigen Armen einer Art von Zange umfasst; der eine Arm ist beweglich und steht in Verbindung mit einem in der Horizontalebene beweglichen Schreibhebel; der andere Arm ist fest und dient als Widerlager. Jede Systole spreizt die Zange und setzt den Zeichenhebel in Bewegung; bei der Erschlaffung des Herzmuskels wird der Hebel durch den elastischen Zug eines an ihm angebrachten Gummifadens in die Ruhelage zurückgebracht. Durch stärkere oder geringere Anspannung des Gummifadens kann man den auf die Herzkammer geübten Druck reguliren. Die Zangenarme sind übrigens elektrisch isolirt und können dadurch, dass

man jeden von ihnen mit dem einem Pole einer galvanischen Kette, oder eines Schlittenapparates verbindet, auch zur Zuführung elektrischer Reize zum Herzmuskel benutzt werden.

II. Froschherz-Manometer.

Wo es sich darum handelt, die Thätigkeit des Kaltblüterherzens ihrem wirklichen Werthe nach kennen zu lernen, wo sie unabhängig von den schwer zu controllirenden Einwirkungen der wechselnden Gefässwiderstände und unter dem Einfluss mannigfaltiger willkürlich zu variirender Bedingungen untersucht werden soll, wird man sich keines anderen Verfahrens bedienen dürfen, wie der schönen im Ludwig'schen Laboratorium ausgebildeten manometrischen Methode.

Das Froschherzmanometer verzeichnet die Pulse des ausgeschnittenen, aber von ernährenden Flüssigkeiten durchströmten Herzens. Mit dem Hohlraum des letzteren ist hier ein kleines Quecksilbermanometer in Verbindung gebracht, dessen Höhenschwankungen ein Schwimmer aufschreibt.

Zum Zwecke der künstlichen Speisung mit Blut oder einer anderen Flüssigkeit kann man die Hohlvene mit einer Zufluss- die Aorta mit einer Abflussröhre versehen. Zweckmässiger ist es, in die Kammer die von Kronecker angegebene doppelläufige Canüle (Fig. 140) einzuführen, deren einer Schenkel *z* die Speisungsflüssigkeit zuführt, deren anderer *a* sie abfliessen lässt, resp. zur Verbindung mit dem Schreibmanometer dient. Der gemeinschaftliche Schenkel der aus Neusilber verfertigten Canüle besitzt eine Scheidewand im Innern, die einen weiteren mit *a* verbundenen, und einen engeren in *z* sich fortsetzenden Raum abtheilt, so dass der Querschnitt sich wie in *q* darstellt. Die ringförmigen Verdickungen bei *r* dienen zur Befestigung der Ligaturen. Der Fortsatz *f* kann zur Verbindung mit dem einen Pole eines Reizapparates benutzt werden.

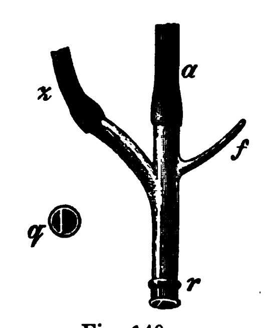


Fig. 140.
Kroneckers Doppelwegcanüle.

Das Ende der Canüle führt man durch den angeschnittenen Venensinus in den Ventrikel ein. Ueber den oberen der beiden Ringe legt man dann die die Vorhöfe und die Aorta umfassende Ligatur. Will man allein die Herzspitze (die unteren beiden, bekanntlich ganglienfreien Drittel des Froschherz-Ventrikels) benutzen, so bindet man einen zweiten Faden im entsprechenden Bereich der Herzkammer über dem unteren Ringe fest.

Soll nun das so hergerichtete Herz durchströmt werden, so leitet man vermittelst eines mit dem Rohr *z* verbundenen Kautschukschlauches die aus unveränderlicher Höhe einströmende Speisungsflüssigkeit zu. Der ganzen Vorrichtung gibt man am besten die von Kronecker acceptirte, in Fig. 141 dargestellte Form.

Das Froschherzmanometer von Kronecker.

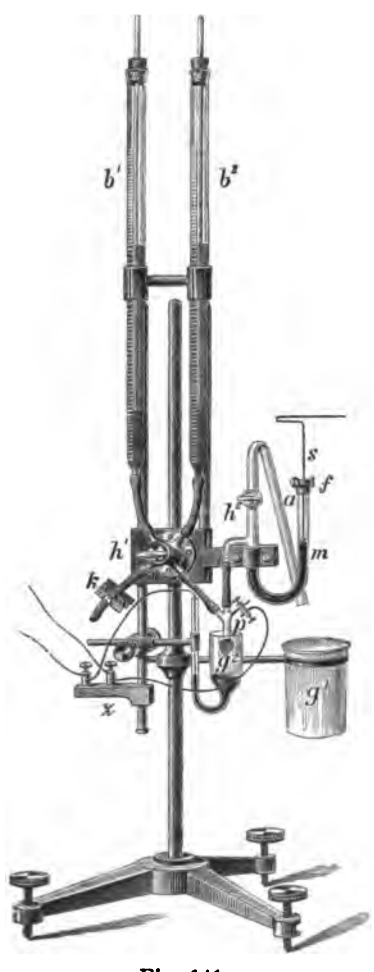


Fig. 141.
Kronecker's Froschherzmanometer.
(1/5 nat. Gr.).

Zwei Büretten b^1 und b^2 sind mit den zu verwendenden, im gegebenen Falle mit einander zu vertauschenden Speisungsflüssigkeiten, die eine z. B. mit verdünntem Blut oder Serum, die andere mit indifferenter Kochsalzlösung, gefüllt. Sie sind beide oben mit Korken verschlossen, durch die lange enge Glasröhren durchgesteckt sind. Dadurch wirken sie in der Weise Mariotte'scher Flaschen, d. h. als Druckhöhe kommt, ob die Bürette bis oben gefüllt oder zur Hälfte und noch mehr entleert sein mag, immer nur dasjenige Niveau in Betracht, in welchem das untere Ende des eingefügten Glasrohres sich befindet.

Diese Büretten stehen durch Vermittelung des Dreiweghahnes h^1 mit dem einen Schenkel der in das Herz eingebundenen doppelläufigen Perfusionscanüle *p* in Verbindung. Je nach der Hahnstellung strömt durch das Herz die in der einen oder die in der anderen Bürette enthaltene Flüssigkeit. Dieser Abwechselung dienen drei der Hahnansätze; der vierte, mit einem durch die Klemme *k* verschliessbaren Schlauchstück versehen, kann zum Ablassen des Bürетteninhaltes benutzt werden. Wie man den Hahn zu drehen hat, um die eine oder die andere Verbindung herzustellen, dürfte ohne weitere Beschreibung verständlich sein

Der zweite Schenkel der Doppelwegcanüle ist mit dem kleinen mit Quecksilber gefüllten Manometer *m* verbunden. Das zu diesem führende Glasrohr steht aber andererseits unter Einschaltung des Hahnes h^2 mit dem nach unten abgebogenen Abflussrohr *a* in Verbindung, so dass, wenn h^2 offen ist, die Perfusionsflüssigkeit einfach das Herz durchströmt, ohne auf das Manometer zu wirken. Ein unter den Abfluss gebrachtes Gefäss g^1 fängt die ausströmende Flüssigkeit auf. Erst wenn h^2 geschlossen, und durch passende Drehung von h^1 auch die Communication der Herzkammer mit der Bürette abgesperrt ist, wirken die Herzpulse auf das Quecksilber des Manometerrohres ein und setzen den Schwimmer *s* in Bewegung. Derselbe besteht aus einem unten mit einer kleinen Kugel versehenen, oben in zweckentsprechender Weise abgebogenen Glasfaden, der durch eine bei *f* befindliche aus drei kleinen Stellschrauben bestehende Führung an seitlichen Schwankungen verhindert wird.

Hat man also die Doppelwegcanüle durch passende Einstellung des Hahnes h^1 und unter Öffnung des Abflusshahnes h^2 mit einer der beiden Büretten verbunden, so füllt sich bald das ganze System, soweit es bis dahin Luft enthielt, mit der Speisungsflüssigkeit; wenn man dann die beiden Hähne schliesst, beginnt das Quecksilber zu pulsiren und der Schwimmer zu zeichnen.

Das Herz versenkt man am besten in das verstellbare Gefäss g^2, welches in ein *U*-förmiges enges Rohr ausläuft. Dieses Gefäss füllt man mit einer kleinen Menge Quecksilber, darüber schichtet man Salzwasser oder Blut oder Serum. Will man das Herz elektrisch reizen, so verbindet man den einen Leitungsdraht mit der an einem Fortsatz der Herzcanüle befindlichen Klemmschraube, den anderen steckt man, wie dies die Figur anzeigt, durch das enge Rohr des Gefässes g^2 in das darin enthaltene Quecksilber. Um Zerrungen der Drähte zu verhüten, stehen sie nicht direct, sondern durch Vermittelung der Zwischenklemmen *z* mit dem Reizapparate in Verbindung. Das Herzbad g^2 lässt sich auch leicht in ein Wasserbad versenken, so dass man verschiedene Temperaturen auf das Herz einwirken lassen kann.

Durch einfache Hahndrehung ist, wie gesagt, die speisende Flüssigkeit zu wechseln. Die eine der beiden Büretten wird man in der Regel mit einer Normalflüssigkeit füllen, die das Herz lange Zeit leistungsfähig erhält. Dazu braucht man am besten defibrinirtes Kaninchen- oder Hundeblut, welches mit dem zwei- bis vierfachen Volumen 0·6 procentiger Kochsalzlösung verdünnt ist. Jedenfalls muss, wie Kronecker und seine Schüler gefunden haben, eine nährtüchtige Speisungsflüssigkeit Serumalbumin enthalten. Die andere Bürette kann

man mit derjenigen Lösung füllen, deren Einfluss auf das Herz man mit dem der normalen Speisungsflüssigkeit vergleichen will, also z. B. mit 0·6 bis 0·7 procentiger Kochsalzlösung, durch deren Durchleitung man das Herz allmälig zur völligen Erschöpfung zu bringen vermag, oder mit vergifteten Blutmischungen u. dgl. m. Da man die Druckhöhe der speisenden Gefässe (durch Hebung oder Senkung der in den Büretten befindlichen Glasröhren) beliebig verändern kann, so hat

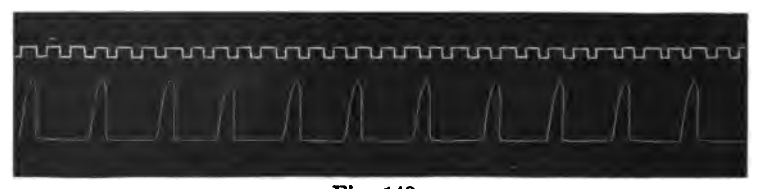


Fig. 142.
Pulsationen des am Froschherzmanometer arbeitenden Herzens.

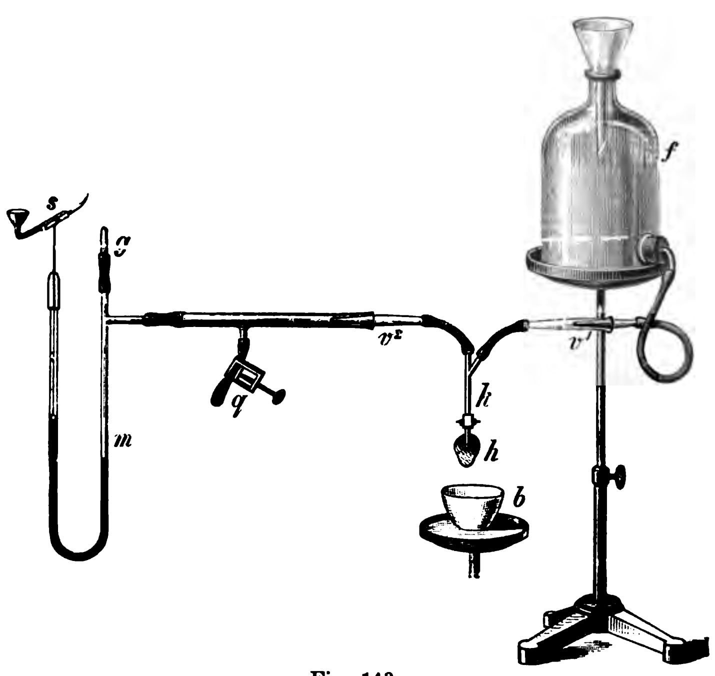


Fig. 143.
Der Williams'sche Apparat.

man es in der Hand, das Herz bei geringerer oder bei stärkerer Füllung arbeiten zu lassen und den Einfluss der Belastung der Herzinnenwand auf die Leistungen des Ventrikels zu untersuchen.

Die Bewegungen des Manometerschwimmers werden auf die berusste Trommel gezeichnet. Die aufgeschriebenen Pulshöhen sind

ein Maass für die vom Herzen geleistete Arbeit; diese ist nämlich den Quadraten dieser Höhen proportional. Fig. 142 gibt eine derartige Aufzeichnung eines am Froschherzmanometer arbeitenden, mit verdünntem Blut gespeisten Ventrikels wieder. Ueber der Herzcurve sind Zeitmarken geschrieben.

Der Apparat von Williams.

Eine dem beschriebenen Herzmanometer ähnliche, aber doch in manchen Beziehungen abweichende Einrichtung hat der besonders zu toxikologischen Untersuchungen vielfach benutzte Apparat von Williams. Auch hier wird das Froschherz künstlich durchströmt; auf das schreibende Manometer wirkt aber der arterielle Druck. Fig. 143 stellt den Apparat dar.

Eine Mariotte'sche Flasche *f*, die mit Blutmischung gefüllt und in passender Höhe aufgestellt ist, lässt ihren Inhalt dem Herzen *h* zufliessen. Durch die Aorta desselben ist in die Kammer eine Doppelwegcanüle *k* eingeführt, die sich, wie Fig. 144 zeigt, von der Kronecker'schen dadurch unterscheidet, dass sie mit einem Ansatzstück *a* versehen ist. Das geriffte Endstück desselben führt man von der Aorta aus bis zum Ventrikel vor und bindet es fest; dann schiebt man in den oberen hülsenartigen Theil die doppelläufige Canüle ein. Die queren Fortsätze des Ansatzstückes dienen zur besseren Handhabung.

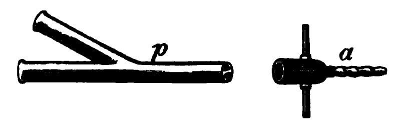


Fig. 144.
Perfusionscanüle von Williams. (nat. Gr.)

Die Venen des Herzens werden unterbunden. Die von den beiden Aesten der Perfusionscanüle ausgehenden Röhren führen über zwei Ventile v^1 und v^2 (Fig. 143) die eine zur Flasche, die andere zum Abflussrohr und zum Manometer.



Fig. 145.
Williams'sches Ventil. (nat. Gr.)

Fig. 145 stellt eines dieser Ventile in natürlicher Grösse dar. Es besteht aus zwei ineinander gesteckten Glasröhren r^1 und r^2. Das Rohr r^1 ist an seinem einen Ende, bei *e* geschlossen. Nahe diesem Ende befindet sich in ihm ein Längsschlitz *s*; über diesen ist eine dünne Goldschlägermembran gelegt und durch Ligaturen oder auch Gummiringe befestigt. Eine in der Richtung der beiden Pfeile strömende

Flüssigkeit, die also in r^1 eintritt, durch r^2 austritt, findet kein grösseres Hindernis; ein Rückstrom ist aber unmöglich, weil sich dann die Membran *m* fest an ihr Rohr anlegen und den Schlitz völlig verschliessen würde. Die beiden Röhren lassen sich vermöge auf einander passender Schliffe fest in einander fügen.

Sind die beiden Ventile wie in Fig. 143 in den künstlichen Kreislauf eingeschaltet, so strömt durch das eine (v^1) die Speisungsflüssigkeit während der Diastole aus der Vorrathsflasche dem Herzen zu; durch das andere v^2 gelangt die durch die Systole ausgestossene Blutmasse zu dem mit einem Quetschhahn *q* versehenen Abflussrohr und wirkt, falls das Glasstöpselchen *g* den einen Schenkel des *U*-förmigen Manometerrohres *m* verschliesst, auf das Quecksilber. Auf diesem ruht ein mit einer Schreibfeder *s* verbundener Schwimmer, der durch eine durchbohrte, dem Ende der Manometerröhre aufsitzende Glaskappe vertical geführt wird.

Das Herz kann in ein mit Salzwasser gefülltes Bad *b* versenkt werden. Die abfliessende Flüssigkeit leitet man entweder in das Vorrathsgefäss zurück oder fängt sie, um ihre Menge zu bestimmen, in einem Masscylinder auf.

Das Manometer wird natürlich nur dann Ausschläge machen, wenn das Herz gegen Widerstände arbeitet; man muss also die Ausflussöffnung mittelst des Quetschhahnes *q* mehr oder weniger verengern. Verschliesst man sie ganz, so wirkt die Vorrichtung als Maximummanometer. Die Systolen treiben alsdann die Quecksilbersäule successive bis zu einer gewissen Höhe, die nicht weiter überschritten werden kann. Sie ist ein Mass für den maximalen Druck, der von dem sich zusammenziehenden Froschherzmuskel noch überwunden wird.

Somit kann man den Williams'schen Apparat nicht allein dazu benutzen, die Herzthätigkeit zu registriren, sondern auch die absolute Kraft des Herzens zu messen. Darin dürfte sein wesentlichster Vorzug, besonders bei toxikologischen Aufgaben, zu sehen sein.

Aber auch der Umstand, dass man mit seiner Hilfe die Leistungen des Ventrikels ununterbrochen bei fortlaufender Durchströmung aufzeichnen kann, macht den Apparat recht werthvoll. Allerdings zeichnet sein Manometer nicht wie das vorher beschriebene die Arbeit des Herzens direct auf, sondern es gibt nur Auskunft über die Höhe des arteriellen Druckes. Wenn man indessen die Abflusswiderstände constant erhält, also dem Quetschhahn *q* eine bestimmte unveränderte Einstellung gibt, so können Aenderungen der Pulsgrösse nur durch Aenderungen der Herzkraft zu Stande kommen, und man kann die letztere durch die Höhe der Pulse messen.

III. Aufzeichnung der Volumveränderungen des Froschherzens.

Eine fortlaufende Registrirung der Herzthätigkeit bei ununterbrochener Durchspülung mit ernährenden Flüssigkeiten lässt sich auch erzielen, wenn man, anstatt die Druckpulse der Kammer aufzuzeichnen, die periodischen Volumveränderungen des künstlich durchströmten Herzens zur Darstellung bringt.

Ein Verfahren, welches dies leistet, hat zuerst Fick in Gemeinschaft mit Blasius ausgearbeitet. Seither ist die Volumschreibung

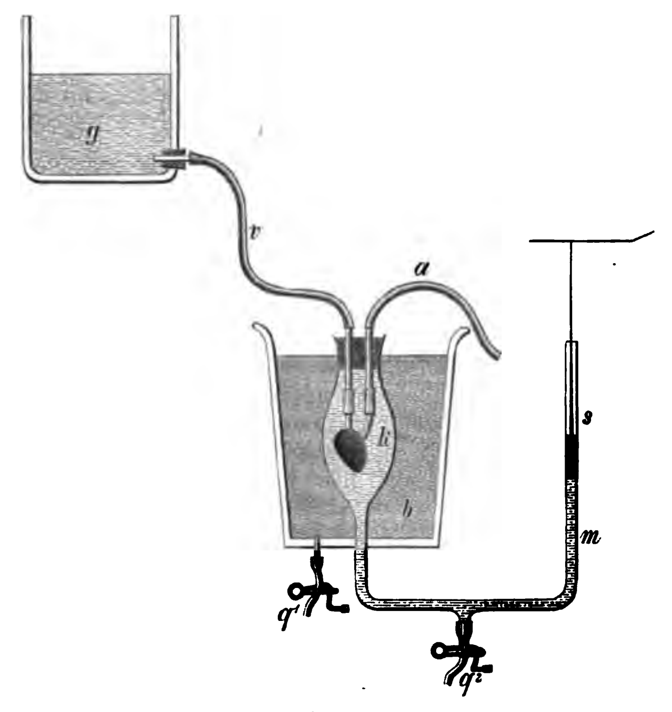


Fig. 146.
Verfahren von Fick und Blasius zur Aufzeichnung der Volumschwankungen des künstlich durchströmten Froschherzens.

von verschiedenen Forschern mit Erfolg angewendet worden. Es handelt sich bei dieser Art von Registrirung um einen besonderen Fall der in einem späteren Capitel näher zu besprechenden Plethysmographie.

Fig. 146 stellt die von Blasius benutzte Einrichtung in ihren wesentlichsten Theilen dar.

Das mit zwei Canülen ausgerüstete Herz [1]) ist hier in eine kleine Kammer *k* eingeschlossen, die man mit Kochsalzlösung füllt und deren Stöpsel zwei Bohrungen zum Durchlass des Zu- und Abflussrohres besitzt. Von diesen ist das erstere mit dem Vorrathsgefäss *g* verbunden. Die Kammer mündet in ein enges zweimal umgebogenes, ebenfalls mit Salzlösung gefülltes Manometerrohr *m*. Auf der Flüssigkeit des freien Schenkels desselben ruht ein mit einer Schreibfeder versehener Schwimmer *s*. Dehnt sich das Herz diastolisch aus, so wird die Manometersäule gehoben, zieht es sich systolisch zusammen, so sinkt sie herab. Ihre Höhenschwankungen entsprechen also den Volumveränderungen des Herzens in den verschiedenen Phasen seiner Thätigkeit.

Die das Herz aufnehmende Kammer ist von einem zweiten, mit Wasser gefüllten Badegefäss *b* umgeben, durch welches die Einwirkung verschiedener Wärmegrade ermöglicht wird. Die Quetschhähne q^1 und q^2 dienen dazu, die entsprechenden Flüssigkeiten abzulassen.



Fig. 147.
Gläschen zur Aufnahme des volumschreibenden Froschherzens.

Einfacher, wenn auch etwas weniger genau, wird die Handhabung einer solchen Vorrichtung, wenn man das Schreibwerk des Wassermanometers durch eine Marey'sche Kapsel ersetzt. Zu diesem Behuf kann man sich des Fig. 147 dargestellten, in ähnlicher Form auch von Marey zu demselben Zweck benutzten, mit Serum oder Salzlösung zu füllenden Gläschens bedienen.

Der enge Schenkel desselben besitzt eine kugelige Auftreibung, deren obere Mündung durch einen Gummischlauch mit der Schreibkapsel verbunden wird. Da die Volumveränderungen des eingeschlossenen Herzens die Höhe des Flüssigkeitsspiegels in *k* nur unbedeutend verändern können, so machen sich bei dieser Anordnung grössere Belastungen der Aussenwand des Herzens, die man bei genaueren Versuchen zu fürchten hat, nicht geltend. Solche könnten dagegen leicht eintreten, wenn der enge Theil der Röhre überall das gleiche geringe Kaliber hätte.

Der den weiten Schenkel des Gläschens verschliessende Stopfen dient einer doppelläufigen Perfusionscanüle zum Durchtritt. Für die letztere ist hier die von Williams (s. o. Fig. 144) angegebene Form am passendsten, da man das von der eigentlichen Doppelwegcanüle

---

[1]) Die eine Canüle wird in die untere Hohlvene oder in den Sinus venosus, die andere in die Aorta eingebunden.

anfangs getrennte Ansatzstück bequem handhaben kann und erst nach geschehener Einbindung mit der durch den Kork hindurchgesteckten Hauptcanüle zu verbinden braucht.

Die Stelle der Marey'schen Kapsel, auf welche die Volumschwankungen des Gläscheninhaltes durch Luftübertragung zu wirken haben, kann auch ein Pistonrecorder einnehmen. Schäfer, der sich eines solchen bediente, füllte ihn sowie das das Herz einschliessende Gefäss mit Oel. Die Ausschläge der Schreibspitze mussten dann natürlich, wie bei der Vorrichtung von Blasius, den Volumveränderungen des Herzens genau proportional sein.

Man kann auch den Wunsch haben, anstatt der periodischen Volumveränderungen des ausgeschnittenen und künstlich durchströmten Ventrikels die eines im natürlichen Kreislauf befindlichen Herzens zu registriren. Zu diesem Zwecke hätte man das freigelegte und vom Perikard befreite Herz in eine unnachgiebige, mit Flüssigkeit gefüllte Kammer einzuschliessen, müsste jedoch dafür Sorge tragen, dass dabei die mit dem Herzen verbundenen grossen Gefässe zwar dicht umschlossen, aber nicht comprimirt werden. Nur sehr geschickten Händen dürfte die Ausführung solcher Versuche möglich sein.

Zweites Capitel.

Untersuchung der Herzthätigkeit beim Warmblüter.

I. Fühlhebel und Acupunctur.

Auch die Aufzeichnung der Thätigkeit des Warmblüterherzens kann mit Hilfe einer Fühlhebelvorrichtung erfolgen. Um eine solche am Herzen des lebenden Thieres z. B. eines Kaninchens anzubringen, spaltet man das Brustbein in der Mittellinie und zieht durch Häkchen, die mit Fäden versehen und mit Gewichten belastet werden, die beiden Sternalhälften weit auseinander, oder man macht sie durch zwei passend gelagerte Sperrhölzchen klaffen. Dann trennt man den Herzbeutel durch einen medianen Schnitt und befestigt — was zuerst vom Ludwig'schen Laboratorium aus empfohlen zu sein scheint — jede Hälfte an dem entsprechenden Rand der Brustkorbwunde durch einige Suturen. Dadurch wird das Herz gut freigelegt und fixirt, und

seine Stellung wird durch die Athembewegungen nicht erheblich verändert. Beim Kaninchen kann man, da hier ein genügend weiter vorderer Mediastinalraum besteht, die ganze Operation vornehmen, ohne die Brustfellsäcke zu verletzen, also auch ohne der künstlichen Athmung zu bedürfen. (Cl. Bernard, Gad.)

Auf denjenigen Punkt des Herzens, der die grössten Ortsveränderungen zeigt, setzt man einen passenden Fühlhebel auf. Bekanntlich haben Ludwig und Hoffa, die zuerst dieses Verfahren anwendeten, vermittelst desselben werthvolle Aufschlüsse über die Herzthätigkeit erhalten.

Durch einen einfachen Fühlhebel lassen sich natürlich auch die Schläge eines ausgeschnittenen Warmblüterherzens aufschreiben. Benutzt man dazu das Herz eines neugeborenen Thieres (Katze), oder kühlt man das Thier, bevor man es tödtet, künstlich ab, so schlägt das isolirte Herz noch recht lange, so dass man den Einfluss von mancherlei künstlich variirten Bedingungen auf den Verlauf und die Frequenz der Pulsationen zur Darstellung bringen kann.

Für das blutdurchströmte Herz des lebenden Thieres gilt natürlich von der Fühlhebelzeichnung dasselbe, was oben bei der Registrirung der Froschherzschläge gesagt wurde, dass nämlich der Fühlhebel nicht nur die Zusammenziehung des Herzmuskels, sondern zugleich den Grad der Blutfüllung anzeigt. Die Aufzeichnungen sind deshalb nicht ganz leicht zu deuten.

Um beim lebenden Thier ohne Freilegung des Herzens genügend sichere Auskunft über die Zahl seiner Pulse zu erhalten, kann man die Jung'sche Nadel (Acupuncturnadel) benutzen. Bekanntlich ist die Einführung einer solchen in das Herz ohne irgend welche üble Folgen. Hat man einem Kaninchen die Nadel — eine 4 bis 6 *cm* lange Nähnadel oder Stecknadel genügt — dort eingestossen, wo man den Herzschlag am deutlichsten fühlt, (nach Kronecker im 3. Intercostalraum, etwa 1 *cm* vom Brustbein), so zeigt sie durch ihre Bewegungen die Ventrikelpulsationen auf das Deutlichste an. Man kann nun, wie dies zuerst Brondgeest ausgeführt hat, am Kopfe bez. im Oehr der Nadel einen Seidenfaden befestigen und diesen über eine Rolle zu einem in passender Weise aufgestellten Zughebel führen, welcher dann die Nadelbewegungen auf die berusste Trommel aufzeichnet.

Besser ist es, nach dem Vorgange von Kronecker, die Nadel auf eine Marey'sche Aufnahmekapsel wirken zu lassen, welche die empfangenen Antriebe auf eine Zeichenkapsel überträgt.

Eine ausgebreitete Verwendung dürfte diese Art von Registrirung der Herzthätigkeit kaum finden. Sie belehrt im Wesentlichen nur

über Zunahme oder Abnahme der Herzfrequenz. Um diese fortlaufend aufzuschreiben, steht uns aber ein anderes, entschieden sichereres, dabei übrigens leicht auszuübendes Verfahren zu Gebote, welches ebenfalls ohne Freilegung des Herzens angewendet werden kann. Es ist das die Aufschreibung des Arterienpulses durch ein mit der Karotis oder Femoralis verbundenes Marey'sches Sphygmoskop oder einen der anderen elastischen Blutwellenzeichner. Ueber diese Methode soll in dem vom Blutdruck handelnden Capitel berichtet werden.

Die Acupunctur leistet treffliche Dienste, wenn es sich lediglich um Demonstrationsversuche (z. B. um die Vorführung von Experimenten über den Einfluss der Vagusdurchschneidung und Vagusreizung) handelt. Hier wird man aber gern auf die graphische Darstellung verzichten und es vorziehen, der Zuhörerschaft die Bewegungen der eingeführten Nadel durch ein daran angebrachtes Fähnlein sichtbar oder dadurch, dass man sie gegen ein Weinglas schlagen lässt, hörbar zu machen.

II. Verzeichnung der Volumschwankungen des Säugethierherzens.

Man hat auch beim Warmblüter versucht, mit Hilfe der üblichen plethysmographischen (onkographischen) Vorrichtungen die Volumveränderungen des schlagenden Herzens zur graphischen Darstellung zu bringen. Indessen dürfte, wie dies schon bei der Besprechung des Froschherzens hervorgehoben wurde, ein solches Verfahren nur einer ausnehmend geschickten Hand zugänglich sein, und zudem ist fraglich, ob man damit Resultate gewinnen kann, welche die mit einfacheren Mitteln erzielten Ergebnisse überragen.

Die einfachste Methode der Herzvolumschreibung ist die Einführung einer Canüle in den Perikardialraum eines freigelegten Herzens und die Verbindung derselben mit einer registrirenden Vorrichtung, einer Marey'schen Schreibkapsel oder einem Piston-recorder. So schrieben François-Franck, Stefani, Knoll, neuestens auch Tigerstedt die Volumveränderungen des Herzens auf. Die Perikardcanüle kann man durch einen kleinen Schlitz des Herzbeutels in denselben einbringen und in ihm festbinden. Man kann sich auch der in einem späteren Capitel zu beschreibenden Spengler'schen oder auch der sogleich zu erwähnenden Knoll'schen Canüle bedienen, die beide ohne Ligatur befestigt werden. Durch Anheben der eingeführten Canüle oder auch durch Einblasung lässt man soviel Luft in den Herzbeutel eindringen, dass das Herz selbst bei stärkster Füllung sich seiner Umhüllung nicht dicht anzulegen vermag. Doch darf die intraperikar-

diale Spannung nicht zu hoch sein, weil sonst die Circulation eine Störung erfahren würde.

Die auf diese Art gewonnenen Curven zeigen durch ihr Ansteigen die diastolische Füllung, in ihrem Absinken die systolische Entleerung des Herzens an. Daneben machen sich in der Regel langsamere von der mechanischen Einwirkung der künstlichen Athmung herrührende Schwankungen geltend. [1])

Aehnliche Aufzeichnungen kann man beim Kaninchen auch ohne breitere Eröffnung des Thorax erhalten. Nach dem Vorgange von Knoll bedient man sich dazu der von ihm angegebenen Mediastinalcanüle (Fig. 148.) Dieselbe ist aus Metall verfertigt und endet mit einer scharfen Stahlspitze. Ihr Hohlraum mündet nach aussen durch ein weites auf der convexen Seite des gekrümmten Röhrchens angebrachtes Fenster. Bei kleinen Kaninchen kann man ohne irgend welche vorbereitende Operation, höchstens nach Spaltung der Haut, die Canüle dicht neben dem Brustbein in den Mittelfellraum einführen und auf der andern Seite des Brustbeins, ebenfalls dicht neben seinem Rande herausstossen. Die concave Seite muss dabei dem Sternum zugewendet sein. Bei vorsichtiger Handhabung ist ein Anstechen der Mammargefässe oder eine Verletzung der Brustfellsäcke völlig ausgeschlossen. Gewöhnlich dringt nach der Einführung sofort etwas Luft in den Mittelfellraum ein. Stellt man jetzt die Verbindung mit einer Schreibkapsel her, so kann man schöne Aufzeichnungen gewinnen, die einerseits die respiratorischen Druckschwankungen, andererseits die periodischen Volumveränderungen des Herzens darstellen.

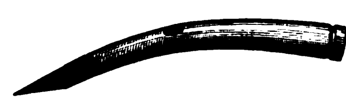


Fig. 148.
Knoll's Mediastinalcanüle. (nat. Gr.)



Fig. 149.
Volumveränderungen des Kaninchenherzens vermittelst der Mediastinalcanüle aufgezeichnet.

Wenn nicht heftigere Bewegungen des Thieres eintreten, die leicht zu einer Verlagerung der Canüle führen, kann man die Aufzeichnung lange Zeit hindurch ungestört fortsetzen. Die Athmung wird nicht im Mindesten beeinträchtigt.

[1]) Man kann diese vermeiden, wenn man, wie Tigerstedt räth, unter das Herz eine feste metallene Scheibe von entsprechender Krümmung schiebt und passend befestigt.

Bringt man die Athembewegungen durch centrale Vagusreizung oder besser durch Erregung der nasalen Trigeminusenden durch reizende Dämpfe (Chloroform, Tabaksrauch) zum Stillstand, so zeichnet, wie Fig. 149 zeigt, die Kapsel allein die Volumschwankungen des Herzens auf.

Natürlich handelt es sich bei diesem wie bei dem vorher erwähnten Verfahren selbst bei Ausschliessung der Athembewegungen nicht um eine völlig reine Registrirung des Herzvolumens. Bei der Benutzung einer Perikardfistel sind ausser den verschiedenen Abtheilungen des Herzens auch die innerhalb des Herzbeutels gelegenen Theile der grossen Gefässe am Zustandekommen der Curve betheiligt; dazu kommen bei Verwendung der Mediastinalcanüle noch ausserhalb des Perikards befindliche Gefässe, deren Füllung ebenfalls wechselt. Es ist deshalb nicht ganz leicht, eine so gewonnene Volumcurve zu deuten, inbesondere denjenigen Antheil herauszufinden, der allein auf den Füllungswechsel der Kammern zu beziehen ist.

Dennoch geben auch solche Curven über mancherlei Erscheinungen am Kreislauf werthvolle Auskunft.

III. Aufzeichnung des im Herzen herrschenden Druckes.

1. Die intrakardialen Blutdruckschwankungen.

Den in den Höhlungen des Herzens herrschenden Druck mit seinen von der rhythmischen Thätigkeit des Herzmuskels abhängigen Schwankungen haben zuerst im Jahre 1863 Chauveau und Marey in einer mustergiltigen Arbeit graphisch untersucht. Als Versuchsthier diente ihnen das Pferd, dessen Blutgefässe geräumig genug sind, um durch sie die nothwendigen Hilfsvorrichtungen in das Herz einzubringen.

Denkt man sich eine elastische Blase in einen der Hohlräume des Herzens so eingeführt, dass die Circulation dadurch nicht erheblich gestört wird, und stellt man sich vor, dass diese Blase mit Luft gefüllt und durch ein Rohr mit einer Marey'schen Schreibkapsel in Verbindung gesetzt sei, so ist klar, dass alle Druckvermehrungen in der erwähnten Herzhöhle ihrer Form und ihrer Stärke nach sich auf die Schreibkapsel übertragen werden und durch sie zur Aufzeichnung gebracht werden können. Marey und Chauveau führten Sonden, die sie mit solchen elastischen Blasen armirt hatten, durch die entsprechenden Blutgefässe in das Herz des lebenden Thieres ein, die für das rechte Herz bestimmte Sonde von der V. jugularis dextra aus, die in die linke Kammer zu bringende von der Karotis der anderen Seite her, in welcher sie sich bis zur Aorta und von dort

mit Ueberwindung der Klappen[1]) bis in den Ventrikel vorschieben lässt. Die linke Herzsonde ist mit einer einfachen Ampulle versehen; die rechte ist doppelläufig, und jedem Lauf entspricht eine Endblase, so dass hier sowohl der Vorhof als der Ventrikel eine solche erhält.

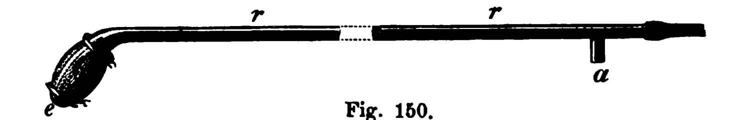


Fig. 150.
Marey's und Chauveau's Sonde für das linke Herz. ($^1/_4$ nat. Gr.) nach Gscheidlen.

Fig. 150 stellt die linke Herzsonde dar. Sie besteht in ihrem Ampullentheil aus einem olivenförmigen Drahtgerippe *o*, das unten zu einer kleinen Endplatte *e* verschmilzt. Darüber ist eine Kautschukmembran gezogen und festgebunden. *r r* ist das Sondenrohr, welches bei *a* einen kleinen Vorsprung besitzt, der ausserhalb des Blutgefässes bleibt und dazu dient, über die Lage der eingeführten Ampulle Auskunft zu geben.

Fig. 151 und Fig. 152 geben die für das rechte Herz bestimmte Sonde wieder, erstere in $^1/_4$, letztere in halber Grösse.

Die beiden elastischen Ampullen sind hier cylindrische, mit Gummimembranen überzogene Kapseln; die obere (*a*) wird von dem Zuleitungsrohr der unteren durchbohrt; oberhalb der Kapsel *a* umgibt die Vorhofsonde (*a'*) die der Kammer (*v'*).

Ist diese Doppelsonde von der V. ju-

Fig. 151.
Rechte Herzsonde ($^1/_4$ nat. Gr.) nach Gscheidlen.

Fig. 152.
Rechte Herzsonde ($^1/_2$ nat. Gr.) nach Gscheidlen.

[1]) Um die bis zu der Klappe vorgeschobene Sonde durch sie hindurchzuführen, wird am besten eine Systole abgewartet, während deren sich die Klappe öffnet. Verletzungen derselben sind trotzdem nicht selten.

gularis aus bis in das rechte Herz vorgeschoben, so kommt *v* in die Kammer zu liegen, während sich *a* in der Vorkammer befindet. Fig. 153 (mit Benutzung einer Zeichnung von Fredericq) zeigt die Lage, welche diese beiden Ampullen im Herzen innehaben; A. d. ist der rechte Vorhof, V. d. der rechte Ventrikel, V. c. s. die obere Hohlvene.

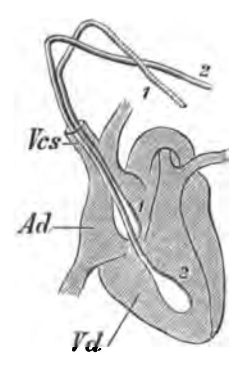


Fig. 153.
Lage der kardiographischen Sonden im Herzen.

Führten Marey und Chauveau diese Sonden in das Pferdeherz ein und verbanden sie dieselben, nachdem sie mit Luft aufgeblasen worden waren, mit Schreibkapseln, deren Hebel genau unter einander auf das bewegte Papier schrieben, so erhielten sie Curvenzeichnungen, die mit grösster Präcision die periodischen Veränderungen des intrakardialen Druckes anzeigten. (s. Fig. 154.)

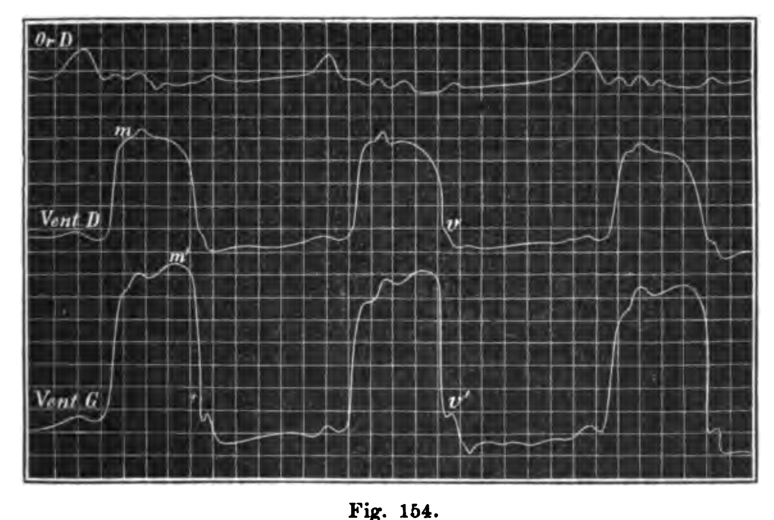


Fig. 154.
Intrakardiale Druckschwankungen (nach Marey und Chauveau.)
Or. D. Curve des rechten Vorhofs, Ventr. D. Curve der rechten Kammer, Ventr. G. Curve der linken Kammer.

Man erkennt an diesen Aufzeichnungen die völlige Synchronie der beiden Kammerhälften, die Aufeinanderfolge von Vorhof- und Ventrikelsystole, von denen die erstere sich in jeder Kammercurve durch eine kleine Zacke markirt, das sogenannte Plateau systolique der beiden Ventrikelcurven u. s. w.

Die Herzsonden können, nachdem man sie mit ihren Schreibkapseln verbunden hat, mit Hilfe eines Quecksilber-Manometers künstlich graduirt, die aufgezeichneten Druckschwankungen somit ihrem absoluten Werthe nach bestimmt werden. (Die dabei zu treffende Versuchsanordnung s. bei Marey La circulation du sang p. 111 Fig. 45.)

Die von den genannten Forschern geübte Methode ist nur bei grossen Thieren (Pferden) ausführbar. Will man den Druck im Herzen eines kleineren Thieres, z. B. eines Hundes, aufzeichnen, so führt man in die Karotis[1]) oder in die rechte Jugularvene einen nahe seinem Ende gefensterten Katheter geschlossen ein und schiebt ihn bis in die betreffende Herzhöhlung vor. Je nach dem damit zu verbindenden Schreibapparat ist der Katheter mit Luft oder mit einer gerinnunghemmenden Flüssigkeit gefüllt. Als Schreibvorrichtung dient am besten ein Fick'sches oder ein Hürthle'sches Federmanometer (s. sp. Abschn. III.), auf welches sich die wechselnden Drucke, unter denen das Blut des betreffenden Herztheiles steht, in vortrefflicher Weise übertragen.

Zieht man die in den linken Ventrikel eingeführte Sonde bis hinter die Semilunarklappen zurück, so kann man statt des Kammerdruckes den Aortenblutdruck aufzeichnen (Fick). Für die simultane Aufzeichnung beider Drucke benutzt man nach dem Vorgang von Hürthle zwei Schreibmanometer, die mit einer doppelläufigen Herzsonde in Verbindung gebracht werden. Die Sondenfenster sind so einzurichten, dass der eine Lauf mit der Aorta communicirt, während der andere mit der Höhlung der linken Kammer in Verbindung steht.

Anstatt zum Zwecke der Registrirung des Herzinnendruckes einen Katheter von den Gefässen her in das Herz einzubringen, kann man wie das Magini that, einen mit einer Schreibvorrichtung verbundenen Trokart durch die Brustwand in das Herz einstossen. Scheut man nicht die breite Eröffnung des Thorax, so lässt sich auch von einem Herzohr oder einem der Vorhöfe des freigelegten Herzens aus eine weite Canüle in die Kammer einführen und mit einem (elastischen) Manometer verbinden (Fredericq, Rolleston).

Bei der Einführung von Sonden und Canülen in das Herz ist darauf Bedacht zu nehmen, dass sie nicht zu weit in den Ventrikel

---

[1]) Der linke Ventrikel ist von beiden Karotiden her zugänglich; doch ist es nach Cl. Bernard besser, beim Hunde die Herzsonde von der linken aus einzuführen, während man von der rechten aus leichter in die absteigende Aorta gelangt. Man thut auch gut daran, den Hund auf die rechte Seite oder auf den Bauch zu lagern.

vorgeschoben werden. Thäte man dies, so würde sich bei der Zusammenziehung des Herzmuskels das Sondenfenster sehr schnell, noch vor der Beendigung der Systole verlegen, da sich an der Spitze der Kammer die Herzwände einander sehr früh bis zur Aufhebung des Lumens nähern (v. Frey.)

2. Ermittelung des im Herzen vorkommenden maximalen und minimalen Druckes.

Bediente man sich zur Aufschreibung des im Herzen herrschenden Druckes eines registrirenden Quecksilber-Manometers, so darf man nicht glauben, dass die gewonnene Curve die wahren Maxima und Minima des Druckes richtig anzeigt. Die Quecksilbersäule ist zu träge, um den bedeutenden und schnell verlaufenden Schwankungen, die hier in Betracht kommen, (es handelt sich beim Hunde um Druckdifferenzen von 150 bis 200 *mm Hg*) treu zu folgen. Die aufgeschriebene Curve wird sich um den mittleren Druck herumbewegen; ihre Gipfel werden aber weit unter den wahren Maxima zurückbleiben, ihre tiefsten Punkte viel zu hoch über den wirklichen Minima liegen.

Man erkennt dies, wenn man das Quecksilber-Manometer durch ein richtig construirtes elastisches ersetzt, welches selbst grossen Druckvariationen treu folgt.

Um mit dem Quecksilber-Manometer die wahren Höhen und Tiefen des intrakardialen Druckes zu ermitteln, muss man dasselbe in ein Maximum- oder Minimum-Manometer umgestalten. Goltz und Gaule, die das gethan haben, erreichten ihren Zweck auf folgende Weise. Zur Aufschreibung des maximalen Druckes brachten sie zwischen Herz und Manometer ein Ventil an, welches die durch das (systolische) Ansteigen des Druckes gehobene Quecksilbersäule verhinderte, während der (diastolischen) Periode jäh abfallenden Druckes zu sinken. Die während einer Systole am Manometer geleistete Arbeit geht dann nicht jedesmal wieder verloren, sondern wird gewissermassen aufgespeichert, und jede folgende Systole hebt die Quecksilbermasse immer weiter und weiter, bis sie endlich den höchsten Druck anzeigt, der während der Versuchszeit im Herzen vorgekommen ist.

Die genannten Autoren bedienten sich eines leicht gehenden und doch dicht schliessenden Kegelventiles. Der mit dem Herzen verbundene Katheter gabelte sich in zwei Aeste, deren einer das Ventil enthielt. Hinter demselben vereinigten sich beide Röhren wieder zu einer gemeinschaftlichen, welche mit dem registrirenden Manometer in Verbindung stand. Waren beide Aeste des Gabelrohres wegsam,

so arbeitete das Manometer ganz wie ein gewöhnliches; wurde dagegen das freie Rohr abgesperrt, so wirkte es als Maximum-Manometer.

Durch Umkehrung des Ventiles lässt sich die Vorrichtung in ein Minimum-Manometer verwandeln, welches die niedrigsten Druckwerthe anzeigt, die während der diastolischen Herzphasen vorgekommen sind. Goltz und Gaule vermochten bekanntlich mittelst dieses Verfahrens die Existenz einer mächtigen diastolischen Saugung des Ventrikels darzuthun, die der mit gewöhnlichen Quecksilbermanometern vorgenommenen Untersuchung bis dahin entgangen war, die sich aber bei Verwendung der oben erwähnten elastischen Druckzeichner durch ein Absinken der Curven bis unter die Nulllinie bemerklich macht.

IV. Registrirung der elektrischen Veränderungen des thätigen Herzens.

Es sei hier noch mit einigen Worten der graphischen Darstellung der galvanischen Erscheinungen gedacht, die am schlagenden Herzen sich beobachten lassen. Sie ist gerade in neuerer Zeit mit Vorliebe betrieben worden.

Leitet man vom ausgeschnittenen Herzen mittelst unpolarisirbarer Elektroden zu einem Capillarelektrometer ab, so erhält man an diesem bekanntlich Ausschläge, die den Actionsströmen des thätigen Herzmuskels entsprechen. Diese am Elektrometer wahrnehmbaren Bewegungen kann man in der im allgemeinen Theil auseinandergesetzten Weise auf ein vorüberbewegtes lichtempfindliches Papier projiciren und dadurch zur photographischen Darstellung bringen. Man gewinnt hierbei Curven, die eine wichtige Ergänzung der die mechanischen Leistungen des Herzens darstellenden Kardiogramme bilden. Es sei hier auf Fig. 67 verwiesen, welche die Actionsströme eines ausgeschnittenen Hundeherzens veranschaulicht.

Das Verfahren ist auch am unverletzten Thier, ja am Menschen anwendbar, besonders da sich die elektrischen Spannungsdifferenzen des thätigen Herzens weit über die Herzgegend hinaus bemerklich machen. Setzt man z. B. die beiden Hände oder die rechte Hand und einen der beiden Füsse mit einem empfindlichen Capillarelekrometer in Verbindung, so pulsirt dessen Quecksilbersäule im Rhythmus des Herzschlages, und auch diese Schwankungen lassen sich photographisch wiedergeben. (A. Waller).

Wenn man einem lebenden Hunde oder Kaninchen Nadelelektroden durch die Brustwand ins Herz stösst und diese mit dem Capillarelektrometer verbindet (Martius), so erhält man ebenfalls photographir-

bare rhythmische Schwankungen des Quecksilber-Meniscus, die den durch die Bewegung der Nadeln angezeigten Zusammenziehungen des Herzmuskels vorangehen. [1])

Drittes Capitel.

Aufzeichnung des Spitzenstosses.

Zur graphischen Darstellung jener Erhebung, welche eine ziemlich begrenzte Stelle der Brustwand bei jeder Systole der Herzkammer erfährt, und die man den Herzstoss oder Spitzenstoss nennt, dient am häufigsten der Kardiograph von Marey.

Man bezeichnet damit ein System von zwei durch einen Schlauch mit einander verbundenen Luftkapseln, deren eine als Aufnahmekapsel (tambour explorateur), deren andere (tambour enregistreur) zur Aufzeichnung dient. Wird die erstere auf die Stelle des stärksten Spitzenstosses aufgesetzt, so überträgt die in ihr enthaltene Luft den empfangenen Impuls mit grosser Treue auf den Schreibhebel der zeichnenden Kapsel.

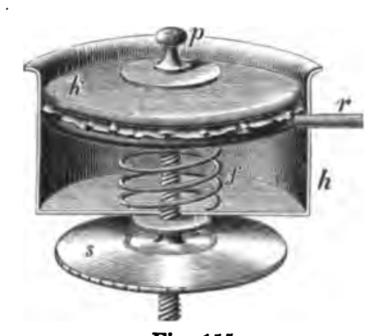


Fig. 155.
Aufnahmekapsel des Marey'schen Kardiographen. (1/2 nat. Gr.)

Unter den vielen für die Aufnahmekapsel von Marey und von Andern vorgeschlagenen Modellen hat sich am meisten die in Fig. 155 dargestellte Form bewährt. Das flache Metallkesselchen *k* ist mit einer Kautschukmembran überzogen, auf der eine mit einem hölzernen Pelottenknopf *p* versehene Aluminiumplatte befestigt ist. Das Abzugsrohr *r* dient zur Verbindung mit einem Gummischlauch. Im Innern der Kapsel *k* befindet sich, in der Abbildung nicht sichtbar, eine ziemlich schwache Spiralfeder, welche

---

[1]) Für eine eingehendere Auseinandersetzung der elektromotorischen Erscheinungen am Herzen ist hier nicht der Ort. Ich muss deshalb auch darauf verzichten, die bisherigen Ergebnisse der elektrophotographischen Untersuchung des Herzens näher zu discutiren. Zum eingehenderen Studium dieser Erscheinungen empfiehlt sich übrigens mehr, als das Säugethierherz, das des Frosches oder der Schildkröte.

die elastischen Wirkungen der nicht allzu stark zu spannenden Membran unterstützen soll.

An ihrer Unterfläche trägt die Kapsel einen mit Schraubengewinde versehenen Fortsatz, der den Boden des glockenförmigen, die Metallkapsel verschliessenden Holzgehäuses *h* durchsetzt. Dieses ist in der Abbildung durchschnitten gedacht. Zwischen der Kapsel und dem Boden des Gehäuses befindet sich eine starke Sprungfeder *f* Durch Drehungen an der Schraube *s* kann man daher die Zeichenkapsel aus dem Gehäuse nach Belieben mehr oder weniger hervortreten lassen. Man setzt die Pelotte auf die Stelle des stärksten Spitzenstosses auf und regulirt durch Drehungen an der Schraube *s* den von der Pelotte geübten Druck.

Zwischen der Aufnahmekapsel und der Zeichenkapsel stellt ein dickwandiger mit enger Lichtung versehener Schlauch die Verbindung her. Derselbe wird zweckmässiger Weise durch Einschaltung eines Marey'schen Ventils unterbrochen. Ein solches ist in Fig. 156 dargestellt. Es besteht aus einer beiderseits mit Schlauchansätzen versehenen Röhre, die sich nach oben durch ein enges kurzes Röhrchen *r* öffnet. Die Mündung des letzteren ist durch die federnde Hebelvorrichtung *h* verschlossen und wird durch einen Druck auf diese geöffnet.

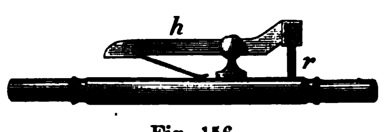


Fig. 156.
Kardiographen-Ventil. (²/₃ nat. Gr.)

Hat man die Aufnahmekapsel fest aufgesetzt, so öffnet man das Ventil und stellt dadurch den gestörten Nulldruck im System wieder her. Nach erfolgter Schliessung des Ventils, die übrigens während einer Diastole geschehen soll, kann die Aufzeichnung beginnen. Der Explorateur kann einfach mit der Hand aufgesetzt und angedrückt gehalten werden. In vielen Fällen, besonders bei länger dauernden Untersuchungen ist es indess zweckmässiger, ihn vermittelst eines um den Thorax gelegten Gürtels zu befestigen.

Fig. 157 stellt die Anordnung eines kardiographischen Versuches dar. k^1 ist die Aufnahmekapsel, die durch den Gürtel *g* fixirt ist. Der von ihr ausgehende Schlauch führt zum Ventil *v* und von da zur Schreibkapsel k^2.

Ueber die Höhe des Druckes, den man mit der Pelotte ausüben soll, lassen sich allgemeine Vorschriften nicht geben. Man muss eben durch Probiren den passenden Druck ausfindig machen. Eine periodische Variation erfährt derselbe durch die Athembewegungen. Will man durch sie nicht gestört werden, so muss die Versuchsperson während der Dauer der Aufzeichnung den Athem anhalten.

Bei manchen Personen hat man viele Mühe, eine kardiographische Curve zu gewinnen; bei sehr fettreichen ist oft jede Bemühung vergeblich.

Als Beispiel einer gut gelungenen Aufzeichnung möge das beistehende Kardiogramm (Fig. 158) dienen. Es stammt von einem sehr schlanken, mageren zwanzigjährigen Manne, dessen Spitzenstoss überaus kräftig war.

Auf die Ausdeutung der Einzelheiten des Kardiogrammes kann hier nicht eingegangen werden, da dieselbe noch viel zu controvers

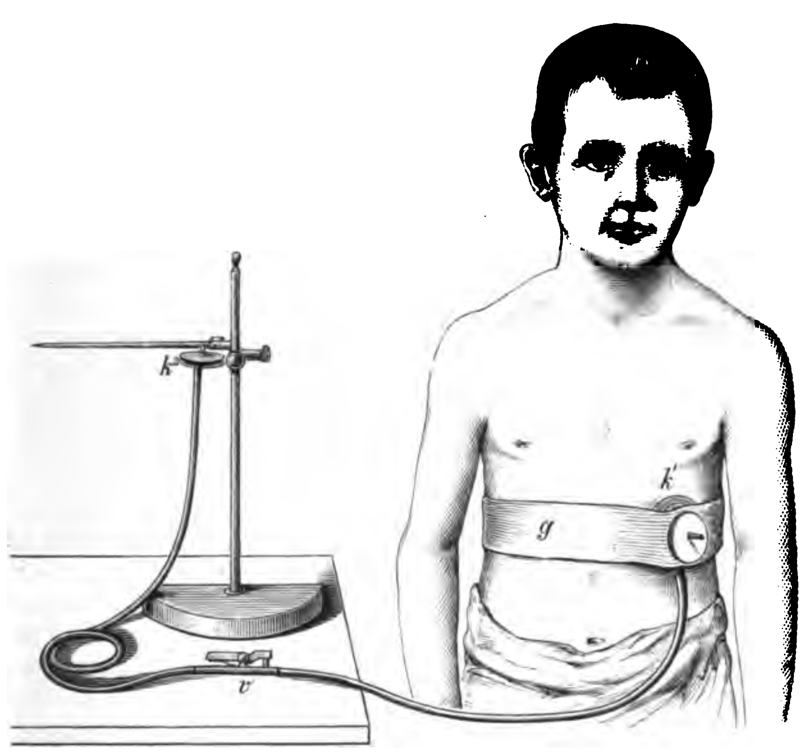


Fig. 157.
Kardiographischer Versuch.

ist. Nur einige Momente seien hervorgehoben. Die vorliegende Curve hat eine entschiedene Aehnlichkeit mit der intrakardialen Druckcurve, die Marey und Chauveau sowie andere Autoren abgebildet haben. Das „plateau systolique“ ist deutlich ausgesprochen. Statt der einen von den meisten Autoren gezeichneten „Vorhofszacke“ im Beginn des aufsteigenden Schenkels der Curve zeigt unsere Aufzeichnung jedesmal zwei scharf ausgeprägte Knicke. Ich habe dieselben fast stets wahrnehmen können. Ueber die Bedeutung

der am Gipfel der Curve oder auch auf dem absteigenden Schenkel derselben befindlichen Zacken herrscht die grösste Meinungsverschiedenheit; Viele halten sie für den Ausdruck des Klappenschlusses. Auch in Bezug auf die Frage, welcher Theil der Curve in das Bereich der Systole, welcher in die Diastole fällt, ist eine Einigung noch nicht erzielt.

Man glaube aber ja nicht, irgend eine kardiographische Aufzeichnung als eine typische und allein den wahren Verhältnissen entsprechende bezeichnen zu dürfen. „Nichts ist variabler als die Form der Herzstosscurve.“ Diesen Satz des vielerfahrenen Marey kann ich nur bestätigen. Unter anscheinend denselben objectiven Bedingungen kann man selbst von einem und demselben Individuum zu verschiedenen Zeiten Curven von ganz differentem Aussehen erhalten. Die Verschiedenheit der von den einzelnen Forschern mitgetheilten Kardiogramme ist eine geradezu auffallende.

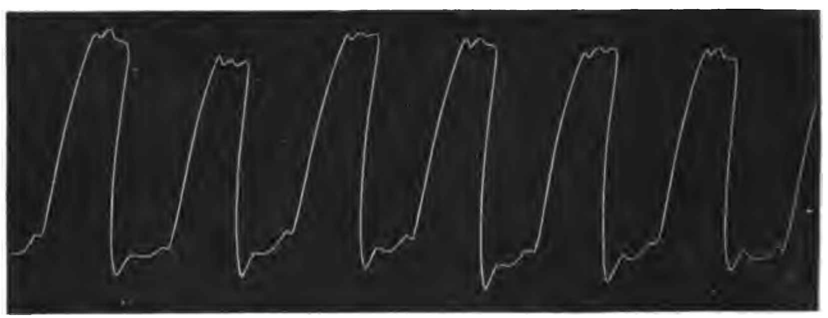


Fig. 158.
Spitzenstosscurve vom Menschen.

Man muss ferner sich vergegenwärtigen, dass auch die beste kardiographische Aufzeichnung nur eine sehr unvollkommene Vorstellung von der Herzthätigkeit zu liefern vermag. Von den verwickelten Vorgängen, die am Herzen während einer Schlagperiode ablaufen, kommt im Spitzenstoss sicher nur ein kleiner Theil zum Ausdruck. Es muss daher gewarnt werden vor der vielfach hervortretenden Neigung, auf Grund von Spitzenstoss-Untersuchungen fundamentale Fragen der Herzphysiologie entscheiden zu wollen. Das Studium des intrakardialen Druckes bei Thieren ist für solche Zwecke das allein geeignete.

Damit soll natürlich der Werth, den die Kardiographie beim Menschen besitzt, bei welchem wir ja für das Studium der Herzthätigkeit auf die äusserlichen Symptome angewiesen sind, keineswegs herabgesetzt werden. Besonders für die klinische Diagnostik kann die Aufzeichnung des Spitzenstosses von hohem Werthe sein.

Zum Zwecke der zeitlichen Auswerthung der Spitzenstoss-curve empfiehlt es sich, die Methode der schwingenden Stimmgabelplatte oder das von mir empfohlene chronographische Verfahren (s. o. S. 147) anzuwenden. In beiden Fällen erhalten die Curven chronographische Zacken, welche die Zeitberechnung sehr erleichtern. Fig. 159 gibt eine Curve wieder, die nach der ersteren der beiden Methoden gewonnen worden ist. Die Stimmgabel machte 64 ganze Schwingungen in der Secunde. Jede Zacke entspricht somit einem Zeitwerth von 0·016 Sec.

Herzcurven, welche zu demselben Zwecke mit Funkensignalen versehen waren, sind oben (Fig. 114) mitgetheilt worden.

Das Princip der Luftübertragung ist von den meisten Forschern, die sich mit dem graphischen Studium des Spitzenstosses beschäftigt haben, acceptirt worden. Auch die Marey'sche Form der Schreibkapsel erfreut sich ziemlich allgemeiner Anwendung. In der Construction der Aufnahmekapsel dagegen gehen die Einzelnen etwas auseinander. Die hier vorgeführte Form des Explorateurs dürfte allen Ansprüchen genügen; doch sind neben ihm noch einige andere, ihm mehr oder weniger ähnliche Vorrichtungen im Gebrauch.

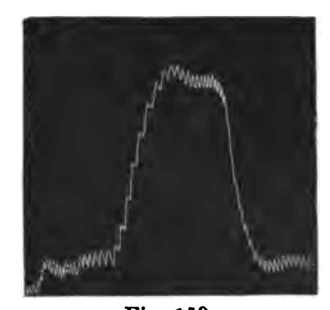


Fig. 159.
Kardiographische Curve mit chronoskopischen Zacken

Besonders wird öfters die ebenfalls von Marey angegebene Coquille benutzt. Sie besteht aus einer muschelförmigen Holzkapsel, welche luftdicht auf die Brust aufgesetzt wird. Im Innern der Kapsel befindet sich eine Feder, der man eine grössere oder geringere Spannung geben kann, und die an ihrem Ende eine auf die Stelle des Spitzenstosses aufzusetzende Elfenbeinpelotte trägt. Ein Abzugsrohr verbindet den Hohlraum der Muschel mit dem zur Schreibkapsel führenden Schlauch. Schliesst dieser Explorateur dicht an die Brustwand an, so überträgt er den Herzstoss recht gut. Die Schwierigkeit ist nur die, dass es nicht immer leicht gelingt, ihn luftdicht anzulegen. v. Wittich überzog deshalb die offene Kapsel mit einer Kautschukmembran; die federnde Pelotte trieb dieselbe an einer Stelle etwas vor. Auf diese Art angewendet, ist der Apparat weit brauchbarer.

Hier möge noch eine von Knoll beschriebene, recht zweckmässige Vorrichtung aufgeführt sein, die eine Modification eines von Meurisse und Mathieu ersonnenen, im Princip auch von Grunmach ange-

nommenen Apparates darstellt, und welcher auch der von Burdon-Sanderson benutzte Kardiograph sehr ähnlich ist.

Der in Fig. 160 dargestellte Apparat ruht auf der Brustwand vermittelst der mit dünnem Leder gefütterten hufeisenförmigen Platte *h*. An dieser ist eine umgebogene Feder befestigt, die an ihrem freien Ende die auf die Spitzenstossgegend aufzusetzende metallene Pelotte *p* trägt.

Ein Stift, der diese Pelotte nach oben verlängert, überträgt ihre Bewegungen auf die durch eine Kautschukmembran abgeschlossene Luftkapsel. Die letztere lässt sich mittelst Zahn und Trieb senkrecht zur Grundplatte verstellen. Die Spannung der Feder kann durch die Schraube *s* regulirt werden. Dadurch wird der Druck, den man auf die Gegend des Herzstosses übt, in recht bequemer Weise variirbar. Dieses Instrument ist, wie zur Aufzeichnung des Herzstosses, auch zur graphischen Darstellung des Arterienpulses gut verwendbar. Es bildet einen Bestandtheil des von Knoll beschriebenen Polygraphen.



Fig. 160.
Aufnahmekapsel der Knoll'schen Polygraphen.

Wir bemerkten oben, dass die Meisten bei ihnen kardiographischen Untersuchungen das Verfahren der Luftübertragung festgehalten haben; und dies mit Recht, denn die experimentelle Kritik hat dasselbe als ein durchaus zuverlässiges erwiesen, und die Bequemlichkeit seiner Anwendung steht über allem Zweifel. Als bedauerlich muss es bezeichnet werden, dass man wiederholt empfohlen hat, das Kapselsystem statt mit Luft, mit Wasser zu füllen. Allerdings ist man dadurch wohl im Stande, die Empfindlichkeit der Vorrichtung zu erhöhen; aber die Zuverlässigkeit des Apparates, die Treue der Aufzeichnung muss dabei unbedingt Schaden leiden, da das Wasser im Vergleich zur Luft ein träges Medium ist, dessen Eigenschwankungen bei den schnellen Impulsen, die es erfährt, sehr merklich werden können.

Einige Worte mögen noch über die Kardiographie bei Thieren gesagt werden.

Soll bei grösseren Thieren, z. B. bei Hunden, der Spitzenstoss aufgezeichnet werden, so kann man sich ebenfalls einer Marey'schen Aufnahmekapsel bedienen. Nur dürfte es hier zweckmässig sein, derselben kleinere Dimensionen zu geben. Bei dem auf dem Rücken liegenden Hunde den Herzstoss zu verzeichnen, hat übrigens sehr oft grosse Schwierigkeit. Wo es geschehen kann, thut man besser, die Kapsel bei der gewöhnlichen Stellung des Thieres anzulegen.

Für das Herz kleinerer Thiere, z. B. des Kaninchens, hat Marey eine Doppelkapsel construirt. Sie besteht aus zwei kleinen Tambours, die durch ein Charniergelenk mit einander verbunden sind, und deren Abzugsrohre sich mittelst eines T-stückes vereinigen. Sie werden zu beiden Seiten des Brustbeines angelegt und durch ein Band um den Thorax befestigt. Da die beiden Trommeln synchrone Anstösse vom Herzen erhalten, so empfängt die Zeichenkapsel einen Impuls von doppelter Stärke. Die gewonnenen Curven sind deshalb von ausreichender Grösse.

Dritter Abschnitt.

Aufzeichnung des in den Gefässen herrschenden Blutdruckes.

Erstes Capitel.

Das Kymographion.

Das Kymographion hat die Aufgabe, den gegen die Innenwand der Blutgefässe wirkenden, periodischer oder unregelmässiger Schwankung unterworfenen Druck zur graphischen Darstellung zu bringen.

Es besteht demgemäss aus einem Registrirapparat, einem mit schreibendem Schwimmer ausgerüsteten Quecksilbermanometer und den zur Verbindung mit dem Blutgefäss nöthigen Zwischenstücken.

I. Aeltere Form des Ludwig'schen Kymographions.

Ludwig, der zuerst gelehrt hat, die Blutdruckwellen zu registriren, verwendete als Druckmesser das von Poiseuille eingeführte Hämodynamometer, d. h. eine heberförmig gebogene Glasröhre, die zum Theil mit Quecksilber gefüllt war. Der eine Schenkel des Rohres wurde mit dem Blutgefäss verbunden, auf das Quecksilber des anderen („freien") Schenkels setzte Ludwig einen schwimmenden Stab, dessen oberes Ende mit einem einen Pinsel tragenden Querstück versehen war. Der mit Farbe getränkte Pinsel lehnte gegen einen durch ein Uhrwerk in gleichmässige Umdrehungen versetzten, metallenen, mit Papier überzogenen Cylinder.

Fig. 161 stellt diese Vorrichtung nicht in ihrer ersten, sondern in derjenigen Gestalt dar, in der sie von Ludwig im Jahre 1856 in seinem Lehrbuch abgebildet worden ist. Der Arterienschenkel des Manometers wird, wie bei Poiseuille, so weit er nicht Quecksilber enthält, mit einer gerinnunghemmenden Sodalösung gefüllt. Wird er mit dem Lumen einer Arterie verbunden, so hebt der in dieser herrschende Druck das Quecksilber des freien Manometerschenkels in die Höhe, und der Unterschied des Quecksilberstandes in den beiden Schenkeln gibt an, wie hoch der wirkende Druck ist. Stand und Bewegung des

Quecksilbers schreibt der Schwimmer auf die in Umdrehung versetzte Trommel. Natürlich erhebt er sich aber von seiner Nullstellung aus nur um die halbe Höhe des vorhandenen Druckes oder einer eintretenden Druckschwankung, da auf ihn nur die Steigung im freien, nicht die Senkung im Arterienschenkel des Manometers wirkt.

Das ursprüngliche Ludwig'sche Instrument hat im Laufe der Zeit mancherlei Veränderungen erfahren; namentlich sind ausser den von seinem Urheber selbst getroffenen die von Volkmann und von Traube angebrachten Vervollkommnungen zu erwähnen. Die Ersetzung des Pinsels durch eine mit Farblösung zu füllende Schreibpfeife, die auf den unendlichen Papierstreifen schrieb; die Einführung der mit berusstem Papier überzogenen Trommel, die ein entsprechend einfacheres Schreibwerk verlangte; die Anwendung geeigneter Gefässcanülen und die Verbindung derselben mit dem Manometer durch zinnere oder bleierne Röhren seien hier besonders hervorgehoben.

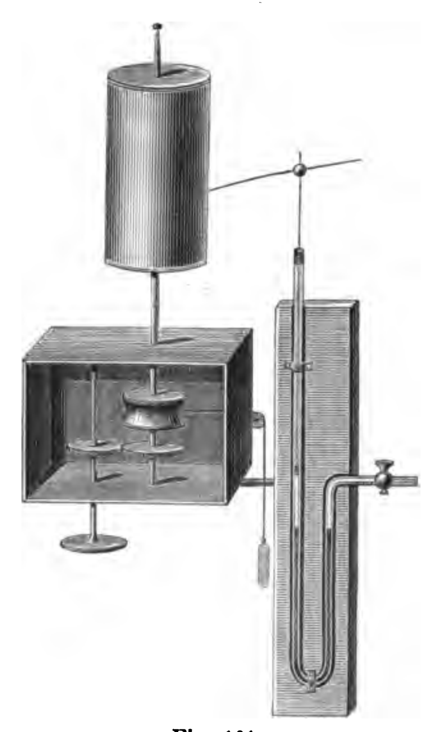


Fig. 161.
Das Ludwig'sche Kymographion (ältere Form.)

In seiner gegenwärtigen Gestalt, in der es, freilich mit der einen oder der anderen Abweichung, in fast allen Laboratorien sich findet, ist das Kymographion ein Apparat, dessen Ausrüstung nichts mehr zu wünschen übrig lässt.

II. Die gegenwärtige Einrichtung des Ludwig'schen Kymographions.

Registrirapparate.

Als Registrirvorrichtung empfiehlt sich, da Blutdruckversuche längere Zeit in Anspruch zu nehmen pflegen, am meisten das Papier ohne Ende, auf welches man über einer und derselben

Nulllinie stundenlang bequem schreiben kann. Der zu diesem Zwecke von Baltzar construirte Apparat (s. S. 24 Fig. 13) entspricht allen Anforderungen. Je nach der Einrichtung des Laboratiums wird man ihn mit einem Uhrwerk ausrüsten oder durch eine andere Maschinerie, Gasmotor, Dampfmaschine u. s. w. in Bewegung setzen lassen. Die Bewegungsgeschwindigkeit kann man durch einen Zeitschreiber controlliren. Will man während der Registrirung Reizungsversuche an einem Nerven u. dgl. vornehmen, so muss man mit dem Apparat auch noch ein reizverzeichnendes Instrument in Verbindung bringen. Es empfiehlt sich daher, die Baltzar'sche Markirvorrichtung (Fig. 120 S. 150) an das Kymographion anzufügen.



Fig. 162.
Das Traube-Cyon'sche Quecksilbermanometer. (1/3 nat. Gr.)

Vielfacher Anerkennung erfreuen sich auch die nach dem Princip von Hering construirten Registrirvorrichtungen, bei denen ein mehrere Meter langer, durch Russ geschwärzter Papierstreifen zur Anwendung kommt (s. die Abbildung eines solchen Kymographions S. 27 Fig. 15).

Für kurzdauernde Versuche kann man das Baltzar'sche Cylinderkymographion benutzen, dessen Trommel dann natürlich mit berusstem Papier überzogen wird. An ihm wie an dem mit Papier ohne Ende versehenen Apparat von Baltzar ist in die Grundplatte eine feste verticale Metallsäule eingelassen, die zur Befestigung des Manometers bestimmt ist. Es ist, wie schon im allgemeinen Theil erwähnt wurde, zweckmässig, die Senkungsvorrichtung des Trommel-

kymographions mit einer Theilung zu versehen, durch die man in den Stand gesetzt wird, den Betrag der nach jeder Umdrehung geschehenden Verschiebung des Cylinders abzulesen. Hat man für die erste Curvenreihe die Nulllinie verzeichnet, so lässt sich dann die Lage derselben für die weiteren Reihen leicht bestimmen.

Das schreibende Manometer.

An Stelle des U-förmigen Glasrohres von Poiseuille verwendet man jetzt in den meisten Laboratorien ein Manometer, das zuerst von Traube angegeben und später von Cyon verändert worden ist.

Fig. 162 gibt dasselbe in $^1/_5$ der natürlichen Grösse wieder. Der gerade (freie) Schenkel sowie der oben abgebogene Arterienschenkel des Manometerrohres münden unten in den Hohlraum einer stählernen Büchse *b*, welche eine durch eine Schraube verschliessbare Ausflussöffnung *a* besitzt. Die Röhren sind von gleicher Weite (3—4 *mm* im Lichten) [1]; sie wie die mit ihnen communicirende Büchse sind mit Quecksilber gefüllt. Dasselbe reicht in den Schenkeln bis zur halben Manometerhöhe. Von der unteren Oeffnung der Büchse aus lässt sich das Manometer leicht entleeren und reinigen. Mit einem metallenen Ansatz des Arterienschenkels ist das Hahnstück *h* durch Verschraubung verbunden. Die nur in ihrem Anfangstheil gezeichnete Bleiröhre *r* lässt sich in das conisch geschliffene Mundstück des Hahnansatzes dicht einfügen und durch Verschraubung befestigen. Der Hahn besitzt eine $1^1/_2$ fache Bohrung; sein Griff ist von einem senkrechten, mit der Bohrung verbundenen Canal durchsetzt, der durch einen eingeschliffenen Stöpsel fest verschlossen werden kann. Auf dem Quecksilber des freien Schenkels ruht der an seinem oberen Ende die Schreibspitze oder Schreibfeder tragende Schwimmer. Derselbe geht durch eine „Führung" d. h. durch die centrale Oeffnung einer dem Glasrohr aufsitzenden Stahlkappe *k*.

Der Schwimmer, den Fig. 163 in halber Grösse darstellt, besteht aus einem spindelförmig sich zuspitzenden Elfenbeinstabe *e e*^{1} der unterhalb seiner Mitte durch eine Hartgummihülse *h* verstärkt ist.

[1]) Die Lichtung des Manometerrohres soll sich nach der Grösse des zum Blutdruckversuch dienenden Thieres richten; kleine Thiere verlangen engere Manometer, als grössere. Eine Maus oder eine Ratte würde sich in ein weites Manometer geradezu verbluten können. Da man Manometer der neuern Construction nicht in allen Grössen vorräthig haben wird, muss man für besondere Fälle sich das passende Instrument improvisiren. Natürlich wird man dann seine Zuflucht am liebsten wieder zu dem U-förmigen Glasrohr nehmen. Man achte darauf, dass es von recht gleichmässiger Weite sei. Das hier beschriebene Manometer ist zu Untersuchungen an Hunden und Katzen bestimmt; doch ist es auch für grössere Kaninchen brauchbar.

Diese Hülse ist in ihrer unteren Partie so ausgehöhlt, dass sie auf den Quecksilbermeniscus passt, und sie hat hier einen solchen Durchmesser, dass sie sich in der Röhre gerade noch ohne Reibung bewegen kann. Der Elfenbeinstab taucht mit seinem ganzen unteren Theile e^1 in das Quecksilber ein. Nach oben setzt er sich in einen Stahlstab *ss* fort, der die Oeffnung der auf dem Manometerrohr sitzenden Führungskappe durchsetzt und über das Rohr emporragt. An seinem oberen Ende trägt er einen durch eine kurze Messinghülse auf ihm befestigten Ring *r*. Derselbe wird mit einem Korkstück gefüllt, und durch dieses stösst man die zur Aufzeichnung dienende Schreibpfeife (*p* in Fig. 163) oder, bei Benutzung des berussten Cylinders, einen rechtwinkelig abgebogenen Glasfaden (Fig. 162) hindurch.

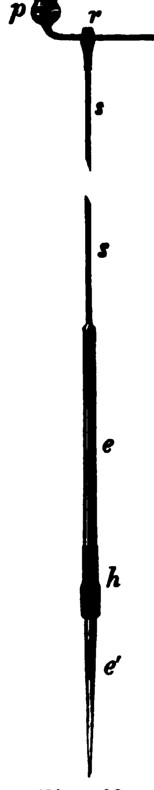


Fig. 163. Manometer-Schwimmer (1/2 nat. Gr.)

Man hat dafür Sorge zu tragen, dass die Schreibspitze des Schwimmers dem die Zeichnung empfangenden Papier stets gut und ohne grossen Druck anliege. Vielfach benutzt man, um dies zu bewirken, einen Coconfaden, der, durch eine Schrotkugel beschwert, in einer dem Schwimmerstabe parallelen Richtung so aufgehängt wird, dass er die Schreibspitze streift und ihr dadurch ihre Lage zum Papier anweist. Um den Faden zu befestigen, ist an dem Kymographion ein horizontaler Drahtarm angebracht, von welchem der Faden herab hängt. Statt des Seidenfadens kann man auch ein Frauenhaar verwenden; noch zweckmässiger sind die von Gad empfohlenen Glasfäden, die man sich durch feines Ausziehen eines Glasrohres herstellt und die man unten mit einer kleinen soliden Glaskugel versieht. Das obere Ende des Fadens biegt man spitzwinkelig um und hakt es in die Oese des Drahtarmes ein.

Verbindungsstücke.

Zur Verbindung zwischen der Arteriencanüle und dem Manometer muss ein unausdehnbares Rohr benutzt werden. Nähme man dazu einen Kautschukschlauch, so würde die Elasticität seiner Wandung einen Theil des Blutdruckes tragen und dessen Uebermittelung auf das Quecksilber verhindern; auch würden Ela-

sticitätsschwankungen nicht ausbleiben. Gewöhnlich wird als Verbindungsstück ein Bleirohr benutzt. Dasselbe ist hinlänglich biegsam, um den verschiedenen nothwendigen Lagen angepasst zu werden; doch hüte man sich vor zu häufigen und zu starken Verbiegungen. Das Rohr soll möglichst kurz und, bei grösseren Thieren, weit sein; an seinem einen Ende muss es mit einem Ansatzstück zum Manometerhahn, an seinem anderen mit einem kurzen gerifften Endstück versehen sein, über welches der die Verbindung mit der Gefässcanüle herstellende kurze Gummischlauch gestreift wird.

An Stelle der trotz ihrer Biegsamkeit doch schwerfälligen Bleiröhre ist von mehreren Seiten ein zuerst von Moleschott angewendetes Gliederrohr empfohlen worden. Dasselbe (Fig. 164) besteht aus einer Anzahl kurzer Glasröhren, die mit einander durch kleine Stücke dickwandigen Kautschukschlauches derartig verbunden sind, dass stets Glas an Glas stösst. Die Schlauchstückchen sind natürlich durch Ligaturen gut zu befestigen. Ein solches Gliederrohr ist nahezu unausdehnbar und doch leicht und fügsam.

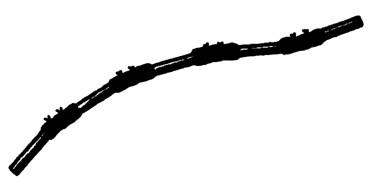


Fig. 164.
Moleschott'sche Gliederröhre.

Die in das Blutgefäss einzuführende Canüle ist von verschiedener Beschaffenheit, je nach der Absicht, in welcher man den Blutdruckversuch anstellt. Kommt es beispielsweise nur darauf an, den allgemeinen arteriellen Druck ohne Rücksicht auf die Differenzen in den verschiedenen

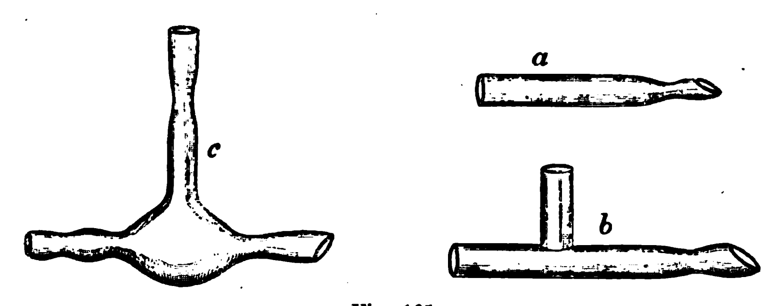
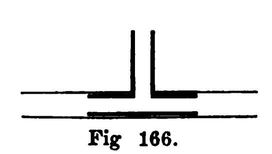


Fig. 165.
Arterien-Canülen.

Gefässen aufzuschreiben, so genügt eine endständige Canüle. Dieselbe wird in den centralen Stumpf des betreffenden Blutgefässes eingeführt, während der peripherische durch eine Ligatur geschlossen wird. Die Canüle stellt man sich aus Glas her und gibt ihr die in Fig. 165 a) dargestellte Form. Es kann vortheilhaft sein, sie

mit einem für gewöhnlich verschlossen zu haltenden Seitenrohr, wie in Fig. 165 b) zu versehen, durch welches man bei eingetretener Gerinnung leicht eine Reinigung und Neufüllung vornehmen kann. François-Franck und Marey empfehlen Canülen von der bei c) dargestellten Form; die ampulläre Erweiterung trägt zur Verhütung von Verstopfungen bei. Wir selbst haben mit Vortheil Glasröhrchen verwendet, die nahe ihrem Gefässende zu einer kleinen Kugel aufgeblasen waren.

Will man den in einer bestimmten Arterie herrschenden Blutdruck messen, so darf man eine endständige Canüle nicht benutzen; ein so verbundenes Manometer würde nicht den reinen Seitendruck anzeigen, sondern den Seitendruck vermehrt um die Geschwindigkeitshöhe. Im günstigsten Fall würde durch eine solche Messung der Seitendruck ermittelt, welcher in derjenigen Arterie herrscht, aus der die untersuchte entspringt. [1])


Fig 166.

Wenn man reine Seitendruckuntersuchungen machen und zugleich auch alle Störungen vermeiden will, die aus der Unterbrechung der Blutströmung entstehen können, so setzt man in das Gefäss entweder ein T-Rohr ein, dessen einer Schenkel mit dem centralen, dessen zweiter die Verlängerung des ersten bildender mit dem peripherischen Gefässende verbunden wird, während das unpaare Rohr zum Anschluss an das Manometer dient (s. Fig. 166); oder man verwendet die von Ludwig und dessen Schüler Spengler angegebene Canüle, die in Fig. 167 dargestellt ist.

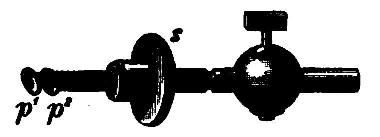
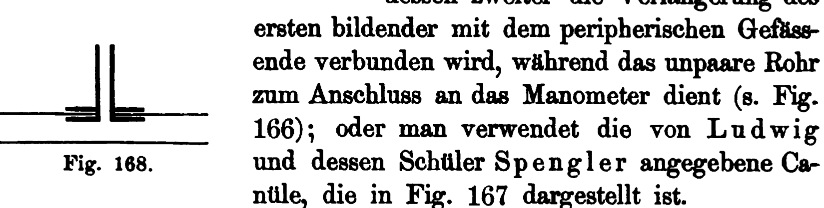


Fig. 167.
Ludwig-Spengler'sche Canüle. (1/2 nat. Gr.)


Fig. 168.

Sie besteht aus einer mit einer plattenartigen Verbreiterung p^1 versehenen Metallröhre von elliptischem Querschnitt; über dieselbe ist eine zweite ähnliche mit der Platte p^2 versehene Röhre geschoben. Durch die Schraubvorrichtung *s* lässt sich die äussere Röhre so vor-

---

[1]) Dieser Fall trifft nur dann zu, wenn die mit dem Manometer verbundene Arterie aus ihrem Stamme unter einem rechten Winkel entspringt. Führte man beispielsweise ein Manometer in die Nierenarterie ein, so müsse man durch dasselbe den Seitendruck, welcher in der Aorta abdominalis herrscht. Ein mit der Karotis endständig verbundenes Manometer bestimmt den Seitendruck im Aortenbogen, bez. in der Art. anonyma; ein mit der Cruralarterie in Verbindung gesetztes zeigt einen Druck an, der um etwas höher ist, als der Seitendruck der Bauchaorta.

schieben, dass man das Plättchen p^2 dem Plättchen p^1 beliebig nähern kann. Bringt man nun in ein Blutgefäss durch eine knopflochartige, in seine Wand gemachte Oeffnung p^1 ein, so kann man, indem man p^2 bis zur dichten Berührung der äusseren Gefässwand heranschraubt, die in diese gemachte Oeffnung verschliessen.

Das Gefässlumen steht dann mit der Lichtung der seitenständig eingefügten innern Canüle etwa so in Verbindung, wie dies Fig. 168 angibt. Ein nicht geringer Vorzug dieses sinnreichen kleinen Werkzeuges ist der, dass der Blutstrom so gut wie gar nicht gehindert wird; dass man keiner Ligaturen zur Befestigung der Canüle benöthigt, darf als ein weiterer Vortheil bezeichnet werden. Besonders empfiehlt sich die Spengler'sche Canüle zur Einführung in Venen, bei denen man ja ohnehin mit endständigen Canülen nichts anfangen kann.

III. Anstellung eines Kymographion-Versuches.

Zur Vorbereitung eines Kymographion-Versuches verfährt man am besten ganz systematisch. Handelt es sich um einen Versuch am Hunde oder Kaninchen, so narkotisirt man zunächst das Thier; dann besorgt man die Füllung des Manometers, setzt den Schwimmer in Stand und bindet das Thier auf. Soll dasselbe curarisirt werden, so macht man dann die Tracheotomie, legt eine Spritzencanüle in eine Vene, spritzt durch sie das Gift ein und sorgt für künstliche Athmung. Dann folgt die Präparation der Arterie, das Einbinden und Füllen der Canüle; endlich stellt man die Verbindung derselben mit dem Manometer her.

Narkotisirung.

Hunde erhalten am besten subcutan eine reichliche Dosis Morphinhydrochlorat; 0·006 grm. p. Kilogr. genügt meistens, um einen Hund längere Zeit in guter Narkose zu erhalten. Geringe Mengen von Chloroform, die man das Thier später während des Versuches athmen lässt, unterstützen die Narkose, falls sie nicht ganz ruhig sein sollte.

Kaninchen gibt man am besten Chloralhydrat; doch hüte man sich vor hohen Dosen, da solche den Blutdruck sehr erniedrigen. Für ein mittelgrosses Thier dürfte etwa 0·25 grm., in die Bauchhöhle eingespritzt, das zulässige Maximum sein.

Katzen werden erst nach geschehener Füllung des Manometers betäubt. Man lässt sie unter einer Glocke Chloroform athmen, bis sie keinen Widerstand mehr leisten; dann werden sie schnell aufgebunden, eine Vene (V. jugularis) wird freigelegt, mit einer Canüle versehen, und

durch diese 0·03 bis 0·04 grm. salzsauren Morphins eingespritzt. Man erhält dann gewöhnlich eine vorzügliche, andauernde Narkose.[1])

Auch Hunden kann das Morphiumsalz intravenös beigebracht werden; man gibt einem mittelgrossen Hunde 0·06 bis 0·08 grm. in einer Dosis.

Die Curarevergiftung, die, wie zuerst Traube gezeigt hat, bei Blutdruckversuchen ganz besonders am Platze ist, kann man erst am aufgebundenen Thiere vornehmen. Man muss ihr die Einlegung einer Canüle in die eröffnete Luftröhre voranschicken. Ist dies geschehen und ist dafür gesorgt, dass die künstliche Athmung jeden Augenblick in Gang gesetzt werden kann, so bindet man, falls dies nicht schon vorher zum Zwecke der Narkotisirung geschehen war, in eine Vene eine Canüle ein, durch die man die Curarelösung langsam bis zum Aufhören der spontanen Athmung injicirt.

Instandsetzen des Manometers.

Das Manometer wird etwa bis zur halben Höhe seiner Schenkel mit Quecksilber gefüllt. Das Quecksilber soll nur in gut gereinigtem Zustand verwendet werden; vor allem darf es nicht mit fremden Metallen verunreinigt sein. Man wasche es zum Zwecke der Säuberung erst mit Salpetersäure, dann mit Wasser, trockne es mit Filtrirpapier gut ab und filtrire es durch fein durchlöchertes Papier oder (unter Anwendung hohen Druckes) durch Waschleder.

Die Manometerröhre soll ganz sauber und trocken sein; zur Erreichung dieses Zustandes leisten kleine gestielte Schwämmchen oder auch Bürsten von entsprechenden Dimensionen gute Dienste.

Das Quecksilber wird vermittelst eines kleinen, fein ausgezogenen Trichters eingegossen. Luftblasen müssen sorgfältig durch Klopfen auf die Röhre oder durch wiederholtes Eintauchen und Herausheben einer Sonde entfernt werden.

Man schreitet sodann zur Einfüllung der zwischen Quecksilber und Blut einzufügenden gerinnunghemmenden Flüssigkeit. Als solcher bediente man sich bisher meistens der schon von Poiseuille benutzten Sodalösung. Am wirksamsten sind gesättigte Natriumcarbonatlösungen oder auch Bicarbonatlösungen, die lange gestanden haben und wahrscheinlich $1^1/_2$ fach-kohlensaures Natron enthalten. Klemensiewicz empfiehlt ein Gemisch des einfach und des doppelt kohlen-

*) Ich hebe dies ausdrücklich hervor gegenüber gewissen neueren Angaben, denen zu Folge es überhaupt nicht gelingen soll, Katzen durch Morphium zu betäuben. Die Autoren, die dieses behaupten, haben das Gift subcutan eingespritzt; vielleicht ist dadurch das abweichende Ergebnis zu erklären.

sauren Salzes. Er nimmt auf 4000 *ccm.* Wasser 186 *grm* Natriumbicarbonat und 286 *grm* des normalen Salzes.

In neuerer Zeit wird mehrfach (Paneth, Hürthle) einer etwa 25-procentigen Magnesiumsulfatlösung (50 Theile des Salzes auf 150 Theile Wasser) der Vorzug gegeben, die in der That ganz hervorragende gerinnunghemmende Eigenschaften besitzt. Sie hat vor der Sodalösung auch den Vorzug, dass sie die in das Blutgefäss eingeführte Glascanüle nicht schlüpfrig macht.

Mit der Salzlösung ist diese Canüle, die an sie anzufügende Bleiröhre und der Arterienschenkel des Manometers so weit zu füllen, als er nicht Quecksilber enthält. Um die Füllung vorzunehmen, verfährt man am einfachsten folgendermassen. Die Bleiröhre wird an das Hahnstück des Manometers angefügt; auf ihr freies Ende zieht man ein kurzes Stück dickwandigen Gummischlauches, den man durch eine Ligatur befestigt. In ihn führt man eine mit der Bittersalzlösung gefüllte, mindestens 15 ccm. fassende Spritze ein. Presst man jetzt deren Inhalt hinein, so gelingt es, wenn ein Assistent ab und zu den Stöpsel des in Oeffnungsstellung befindlichen Manometerhahnes lüftet, das Manometer so wie das Bleirohr mit der Lösung anzufüllen. Die verdrängte Luft entweicht dabei durch die Oeffnung des Hahngriffes. Ist die Füllung geschehen, so drückt man bei verstöpseltem Hahn so viel weitere Flüssigkeit in das Manometer hinein, dass das Quecksilber im freien Schenkel um 10 – 20 *cm* höher steht als im anderen. Dann dreht man den Hahn so, dass seine unpaare Bohrung zum Manometer sieht. Entfernt man jetzt wieder den Griffstöpsel, so sinkt die Quecksilbersäule auf *O* zurück und drängt alle überschüssige Flüssigkeit, mit ihr aber auch alle im Manometer und im Hahnansatzstück etwa noch zurückgebliebene Luft zur Oeffnung heraus. Diese wird jetzt wieder geschlossen, der Hahn um 180 Grad gedreht, so dass seine Halbbohrung zur Bleiröhre führt; nimmt man den Stöpsel jetzt wieder heraus, und gibt man Druck, so wird damit alle noch im Bleirohr enthaltene Luft fortgetrieben.

Wenn dies geschehen ist, dreht man den Hahn in seine Oeffnungsstellung, nachdem man ihn vorher wieder verstöpselt hat. Das Manometer ist dann luftfrei gefüllt; man hat aber noch für die Herstellung eines passenden Ueberdruckes zu sorgen, d. h. man hat dem Quecksilber bereits vorläufig einen so hohen Stand zu geben, wie ihn voraussichtlich der zu messende Blutdruck herbeiführen wird. Dies ist unbedingt nöthig, um dem Eindringen zu grosser Blutmengen in das Manometer vorzubeugen.

Um den Ueberdruck herzustellen, presst man mittelst der Spritze soviel Flüssigkeit in das Manometer ein, als zur Erhebung der Quecksilbersäule auf die gewünschte Höhe nothwendig ist, verschliesst dann den Hahn und legt auch um den kurzen Schlauch, in welchen die Bleiröhre ausgeht, eine Klemme.

Die Höhe des zu gebenden Ueberdruckes richtet sich nach der Thierart und nach dem voraussichtlichen Zustand des Gefässsystems. Nach François-Franck, dem ich im Wesentlichen beistimmen kann, gibt man

beim Hunde	bei	Benutzung	der	Art.	femoralis	160	*mm.*
	„	„	„	„	carotis	140	„
beim Kaninchen	„	„	„	„	femoralis	80	„
	„	„	„	„	carotis	70	„

Bei morphinisirten Katzen kann man meiner Erfahrung nach einen Karotiden-Druck von etwa 120 *mm.* Hg. voraussetzen.

Bei Fröschen, mit deren Aorten man den Druckmesser verbindet, gibt man einen Ueberdruck von 30 *mm.* Hg.

Nach geschehener Füllung wird der Schwimmer auf das Quecksilber gesetzt. Man achte darauf, dass er völlig trocken, dass sein Stahlstab ganz blank sei und sich in seiner Führung ohne Reibung bewege. Seine Hartgummihülse soll mit ihrem unteren Ende den Quecksilberspiegel dicht berühren; weder über ihr noch zwischen ihr uud dem Glase soll sich Quecksilber befinden. Der Zeichenstift wird dann an die Trommel angelegt und dem führenden Glasfaden die passende Stellung gegeben.

Verbindung mit dem Blutgefäss.

Wenn dies alles geschehen, wenn ferner das Thier aufgebunden, narkotisirt und curarisirt ist, kann man die Arterie freilegen und die Canüle einbinden und füllen. Als Füllungsflüssigkeit dient gewöhnlich die zur Füllung des Bleirohres benutzte, also Magnesia- oder Sodalösung. Vor Kurzem hat Tigerstedt vorgeschlagen, die Canüle und den angrenzenden Schlauchtheil mit Peptonlösung (1 auf 12 Kochsalzlösung von 0·6 Proc.) zu füllen; ich habe es noch zweckmässiger gefunden, dazu Blutegelextract (Decoct von 10 Blutegelköpfen mit 100 *ccm* Salzwasser) zu verwenden, welches sich, mit einem Thymolkrystall versetzt, monatelang wirksam erhält. Dasselbe besitzt, wie zuerst Haycraft angegeben hat, eine überraschende Fähigkeit, die Gerinnung auch ausserhalb der Blutgefässe aufzuhalten.

Wo es angeht, führt man die Canüle schon theilweise gefüllt in das Gefäss ein. Nach der Einbindung wird die Füllung mit Hilfe einer mit langer und feiner Canüle versehenen Pravaz'schen Spritze leicht besorgt oder vervollständigt.

Ist auch das unterhalb der verschliessenden Klemme befindliche Ende des auf die Bleiröhre gezogenen Gummischlauches gefüllt, so fügt man es mit der Canüle zusammen und legt darüber eine Ligatur. Die Aufzeichnung kann jetzt beginnen. Man löst zuerst die Serre-fine, die bei endständiger Canüle das centrale Ende der Arterie vorläufig verschliessen musste, oder bei seitenständigem Einsatz die beiden, stromaufwärts und stromabwärts gelegenen Klemmen. Dann öffnet man die nahe der Canüle angelegte Schlauchklemme und endlich auch, und zwar langsam, den Manometerhahn.

Der Schwimmer beginnt sofort sich zu bewegen. Bewegt sich auch das Papier, so zeichnet er die Blutdruckcurve auf.

Abscissenzeichnung.

Nach Beendigung des Versuches ist die Nulllinie zu verzeichnen, da man nur durch sie den absoluten Werth der Druckhöhe erfahren kann. Zu diesem Zwecke wird die Arterie zugeklemmt, die Canüle aus ihr entfernt und (nach dem zweckmässigen Verfahren von Burdon-Sanderson) in ein mit Flüssigkeit gefülltes Gefäss versenkt, das man in dasselbe Niveau bringt, in welchem die untersuchte Arterie sich befindet. Dann lässt man den Schwimmer den entsprechenden Quecksilberstand verzeichnen; die gewonnene Linie ist die Abscisse.

Manche verzeichnen die Abscissenlinie zu Beginn des Versuches. Dies muss dann natürlich geschehen, bevor man dem Quecksilber Ueberdruck gegeben hat.

Von der Anbringung eigener Abscissenschreiber, welche fortlaufend mit der Blutdruckcurve unter derselben die Nulllinie zeichnen, nimmt man beim Quecksilbermanometer besser Abstand.

Hat man auf unendliches Papier gezeichnet, so ist aus einer einmal am Ende oder am Anfang gemachten Abscissenmarke die Höhe der Nulllinie für alle, auch die entferntesten Stellen der Curve sehr einfach folgendermassen festzustellen. Man rollt oder faltet das die Zeichnung enthaltende Papier fest und gleichmässig zusammen, doch so, dass man die Nullmarke im Auge behält. Sticht man alsdann mit einer starken Nadel an der Markenstelle durch alle Papierlagen

durch, so ist damit die gewünschte Niveaubestimmung für eine grosse Reihe von Curvenpunkten ausgeführt.

Die beistehende Figur 169 stellt die Anordnung bei einem Blutdruckversuch dar.

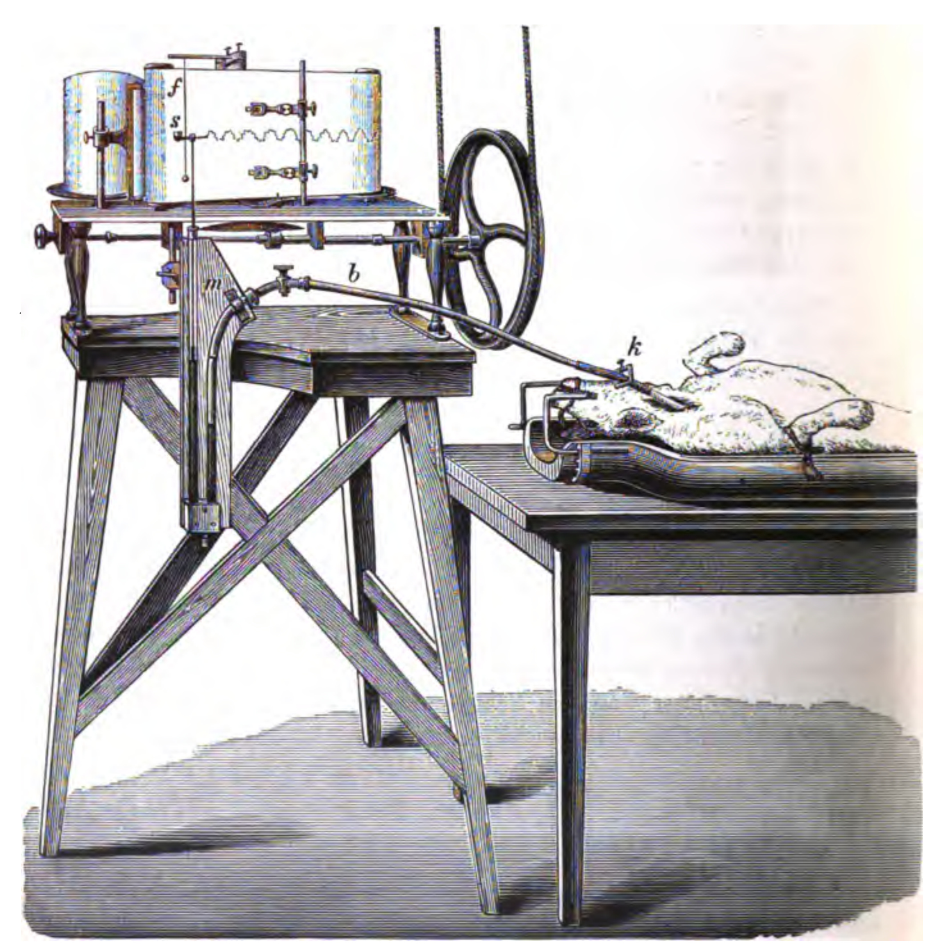


Fig. 169.
Blutdruck-Versuch.

Auf den unendlichen Papierstreifen zeichnet das Manometer *m* mittelst des die Schreibpfeife *s* tragenden Schwimmers. Die Pfeife wird geführt durch den senkrecht herabhängenden Glasfaden *f*.

b ist das Bleirohr, das durch einen kurzen mit der Schlauchklemme *k* versehenen Kautschukschlauch mit der in die Karotis eines

Hundes eingebundenen Glascanüle verbunden ist.[1]) Zeitschreiber und Reizverzeichner, die man bei Blutdruckversuchen oft verwenden muss, sind in der Zeichnung fortgelassen.

Die mit Hilfe eines solchen Apparates gewonnene Blutdruckcurven (siehe Fig. 170 und 171, sowie Fig. 79—81) zeigen die von der Herzthätigkeit herrührenden, kardialen Zacken, die den



Fig. 170.
Blutdruckcurve (junge Katze). Zeitmarken = 5 Sec.

grösseren und selteneren respiratorischen Schwankungen aufgesetzt erscheinen; in vielen Fällen sind auch jene langsamen und breiten Undulationen erkennbar, die man als Traube'sche oder Hering'sche Wellen bezeichnet.

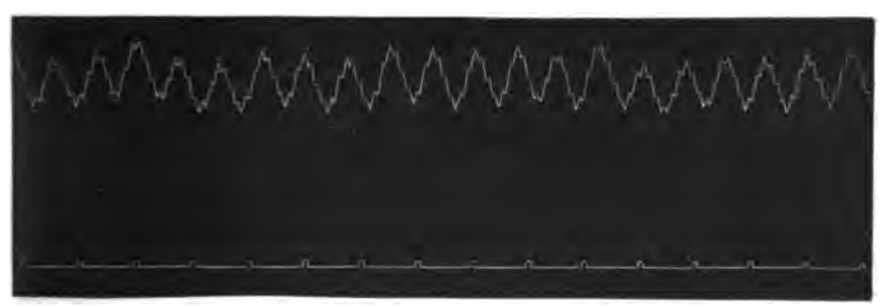


Fig. 171.
Blutdruckcurve (Kaninchen). Zeitmarken = 2 Sec.

Soll die Blutdruckhöhe für einen bestimmten Punkt der Curve festgestellt werden, so findet man sie, wenn man den verticalen Abstand des Punktes von der Nulllinie mit 2 multiplicirt.

---

[1]) Das Versuchsthier liegt hier ungefähr parallel zur Schreibfläche. Dadurch ist die nicht unbedeutende Länge des Bleirohres bedingt. Es ist meistens zweckmässiger, das Vivisectionsbrett senkrecht zur Richtung des Papierstreifens zu stellen. Was die Höhe anlangt, in welche man das Thier zu bringen hat, so thut man am besten, wenn man die untersuchte Arterie in ein dem Nullpunkt des Manometers möglichst entsprechendes Niveau bringt. Trifft dies genau zu, so entspricht die Versuchsabscisse dem wirklichen Nullniveau.

Die mittlere Blutdruckhöhe für einen ausgedehnteren Abschnitt der Curve kann man ermitteln, indem man eine grössere Anzahl von Ordinaten ausmisst, ihr arithmetisches Mittel nimmt und dieses verdoppelt. Genauer ist das von Volkmann eingeführte Verfahren, das im allgemeinen Theil (Abschnitt VI. S. 106) geschildert worden ist. Eine noch grössere Genauigkeit lässt sich durch die Verwendung des Planimeters erzielen.

Zweites Capitel.

Allgemeine Bemerkungen über Wellen- und Pulszeichner.

Die Quecksilbersäule des Poiseuille'schen Manometers repräsentirt eine Masse von beträchtlicher Trägheit. Von einer solchen wird man vermuthen müssen, dass sie einwirkenden Antrieben nicht immer momentan Folge leisten werde, und dass sie, einmal in Bewegung gerathen, leicht über ihr Ziel hinausschiessen und nach Beendigung des Impulses ihre Ruhelage nicht sofort wieder gewinnen möchte. Bei der ausgebreiteten Anwendung des schreibenden Quecksilber-Manometers hat man natürlich den Wunsch gehabt, die Grenzen seiner Zuverlässigkeit zu kennen; und so sind zahlreiche theoretische und experimentelle Untersuchungen angestellt worden, um zu entscheiden, in wie weit das Instrument den Sinn, die Grösse, die Periode, die Form auf dasselbe einwirkender Druckschwankungen richtig wiedergibt. Diese Untersuchungen haben zugleich Anhaltspunkte geliefert für die allgemeinen Grundsätze, die für die Construction zuverlässiger Wellenzeichner überhaupt massgebend sein sollen.

Hier mögen diese Principien kurz erörtert werden.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass, wenn auf eine Quecksilbersäule Druckveränderungen von langsamem Verlauf einwirken, das Quecksilber mit vollkommener Treue diesen Schwankungen folgt. Man hat zutreffend hervorgehoben, dass Niemand den Angaben eines Barometers, das ja nur langsam sich vollziehende Druckschwankungen aufzuzeichnen hat, misstrauen wird. So lange es sich beim thierischen Blutlauf um träge Druckvariationen handelt, liegt der Fall ebenso; ganz anders aber, wenn die Veränderung eine plötzliche, jäh auf- oder absteigende ist. Hier mischt sich die Trägheit des Quecksilbers in störender Weise ein; und besonders schlimm wird sie sich dann geltend machen, wenn die Druckänderung von beträchtlicher Grösse

ist. Die Eigenschwankungen des Quecksilbers werden das darzustellende Bild modificiren.

Die Eigenschwingungen des Quecksilbers lassen sich am besten beobachten, wenn man ein mit schreibendem Schwimmer versehenes Manometer mit einem Ansatzrohr verbindet, von dem aus man die Flüssigkeitssäule mehr oder weniger plötzlichen und mehr oder weniger starken Druckwirkungen aussetzt.

Lässt man einen einzelnen, stärkeren Anstoss auf das Quecksilber wirken, so kehrt dasselbe nach vollendetem Ausschlag nicht einfach in seine Gleichgewichtslage zurück, sondern schlägt in Folge der erlangten Geschwindigkeit über dieselbe hinaus, geht dann wieder in der entgegengesetzten Richtung zurück und vollführt so eine grössere oder geringere Anzahl von pendelartigen Schwingungen. Grösse

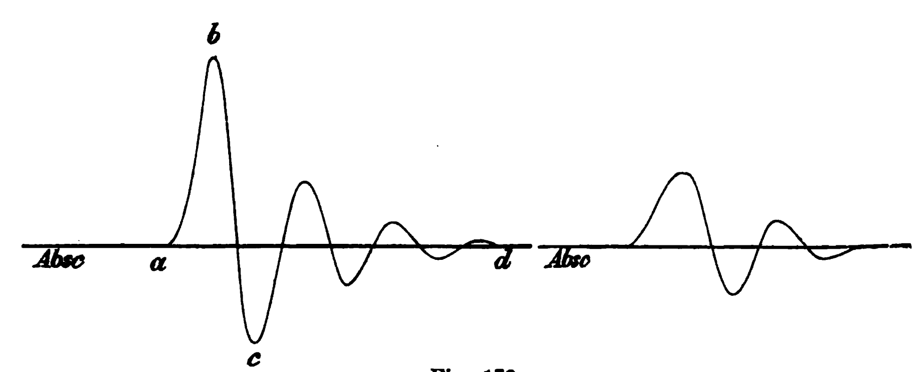


Fig. 172.
Eigenschwingungen des Quecksilber-Manometers.

und Zahl derselben hängt im Wesentlichen ab von der Anfangsgeschwindigkeit und von der Höhe des ersten Ausschlages.

In Fig. 172 sind solche vermittelst des Manometerschwimmers verzeichnete Eigenschwingungen dargestellt; bei der einen Aufzeichnung war der anfängliche Ausschlag (*a b*) hoch; man sieht das Quecksilber durch die Ruhelage hindurch bis *c* zurückgehen, und danach noch drei positive und zwei negative Excursionen machen, bis es endlich bei *d* zur Ruhe kommt. In der zweiten Zeichnung, in welcher der primäre Ausschlag nicht bedeutend war, ist die Zahl der Eigenschwingungen und damit ihre Dauer weit geringer.

Wenn jedesmal beim Gebrauch des Manometers Eigenschwingungen von solcher Grösse und Dauer sich geltend machen würden, so müsste die Aufzeichnung von Blutdruckveränderungen in der empfindlichsten Weise gestört, ja wohl unmöglich werden. Glücklicher Weise ist dies nicht der Fall.

Ist nämlich die auf die Quecksilbersäule wirkende Druckschwankung eine periodische, so gelangt, wie sich nachweisen lässt, die Schwingung der bewegten Masse mit der Periode der veränderlichen Kraft sehr schnell in Uebereinstimmung, falls nur ein irgend bemerkenswerther Widerstand auf die Bewegung der Masse einwirkt. Da solche Widerstände unter den Verhältnissen, unter denen man die manometrische Registrirung des Blutdruckes vornimmt, niemals fehlen — man denke nur an die Reibung der Schreibfeder an der die Zeichnung aufnehmenden Papierfläche — so ist zu erwarten, dass das Quecksilber-Manometer die Periode der rhythmischen Kraftänderungen, die es darstellen soll, also z. B. die Zahl der pulsatorischen und respiratorischen Blutdruckwellen richtig wiedergeben werde.

Dasselbe gilt aber nicht für den Betrag der Variation. Ihn gibt das Quecksilber-Manometer meistens unrichtig an; allerdings bewegen sich die Schwankungen um die richtige Mitteldruckhöhe; aber die Maxima schnell verlaufender Wellen liegen meist unter, die Minima unter oder über den wirklichen.

Was endlich die Form der Schwankung anlangt, so wird man für sie vom Quecksilber-Manometer am wenigsten erwarten dürfen. Die Pulszacken der von ihm geschriebenen Blutdruckcurve sind stets von sehr einfacher Gestalt und verrathen nichts von den mannigfaltigen Variationen, die thatsächlich während einer jeden Pulsperiode vorhanden sind.

Ist also dem Gesagten zufolge das registrirende Quecksilber-Manometer ein sehr geeignetes Hilfsmittel zur Beurtheilung des während eines gewissen Zeitraumes herrschenden mittleren Blutdruckes, lässt es ferner deutlich erkennen, ob der Druck steigt oder sinkt oder merklich constant bleibt, liefert es endlich auch genügenden Anhalt für die Messung der Pulszahl, so ist es nicht zu brauchen, wenn man die Form und die Grösse der Druckänderungen treu aufzuzeichnen wünscht.

Es wäre aber ein grosses Unrecht, wollte man das so werthvolle Instrument deshalb in die Acht erklären, weil es nicht Alles das zu leisten im Stande ist, was man von ihm verlangen möchte. Für die Lösung zahlreicher Fragen reicht es noch vollkommen aus.

Wie muss aber eine manometrische Vorrichtung beschaffen sein, um auch die Form und den Betrag aller etwa in Frage kommenden Druckschwankungen mit der nöthigen Treue wiederzugeben?

Auf Grund der Untersuchungen zahlreicher Forscher — ich nenne besonders Mach und Fick, ferner Landois, Grashey, Hürthle, Hoorweg — lassen sich die Hauptbedingungen, die für die Con-

struction eines solchen Instrumentes erfüllt sein müssen, etwa folgendermassen formuliren:

1. Die in Bewegung zu setzenden Massen sollen so gering als möglich sein.

2. Sie dürfen keine grosse Geschwindigkeit erreichen.

3. Die Widerstände (der Reibung u. s. w.) müssen möglichst klein sein.

Was den ersten Punkt anlangt, so ist klar, dass alle aus der Trägheit der bewegten Masse folgenden Störungen um so geringer sein müssen, je kleiner die Masse ist. Ganz lässt sich die träge Masse nicht vermeiden; aber man wird sie auf das mögliche Minimum zu beschränken haben.

Könnte man an die Stelle der bewegten Quecksilbersäule des Poiseuille'schen Instrumentes eine elastische Feder setzen, die durch den wirksamen Druck aus ihrer Ruhelage gebracht würde, und die beim Nachlassen des Druckes dieser wieder zustrebte, so wäre dieser Forderung entsprochen. Eine solche Feder liesse sich auch leicht so wählen, dass die Massenverschiebungen selbst bei bedeutenden Druckänderungen nur gering wären, dass also damit auch der zweiten der oben ausgesprochenen Forderungen genügt würde. Man brauchte nur eine gehörig kräftige Feder zu nehmen, die zwar jedem Antrieb folgt, deren Excursionsweite aber auch bei den stärksten Impulsen klein bleibt. Die Ausschläge der Feder müssten auf einen vergrössernden Schreibhebel übertragen werden. Da man denselben aus so leichtem Material herstellen kann, dass seine Masse selbst bei grosser Länge nur unbedeutend ist, so werden durch ihn grössere Störungen nicht ausgeübt. Als Gesetz aber sollte auch hier gelten, dass man unnöthig starke Vergrösserungen, welche sehr lange Schreibhebel nöthig machen und grosse Ausschläge der Schreibspitze voraussetzen, zu vermeiden hat.

Bei der Construction eines manometrischen Apparates dieser Art muss man ferner berücksichtigen, dass auch die flüssigen Massen, die man zwischen Blut und Feder einschaltet, mit denen man also das Manometer füllt, in Bewegung gesetzt werden, und daher durch ihre Trägheit stören können. Es ist deshalb vorgeschlagen worden, das Manometer und alle Verbindungsstücke nur mit Luft zu füllen (Fick), wodurch träge Massen ganz vermieden werden. Benutzt man eine tropfbare Flüssigkeit, so ist darauf zu achten, dass wenigstens die Verschiebungen, die sie erleidet, sich auf das kleinste Maass beschränken (Hürthle).

Was schliesslich die Widerstände betrifft, auf die der dritte der obigen Sätze hinweist, so ist klar, dass, falls solche von merklicher

14*

Grösse vorhanden sein sollten, sie die Treue der Aufzeichnung bedeutend stören müssten. Man muss also darauf sehen — doch das gilt natürlich für graphische Instrumente aller Art —, dass die Schreibspitze mit nur sanftem und gleichmässigem Druck auf die bewegte Fläche zeichnet, und dass die Axen und Gelenke des Apparates grössere Reibungswiderstände nicht darbieten.

Wir werden im nächsten Abschnitt sehen, dass die dort zu schildernden elastischen Manometer im Ganzen nach den hier entwickelten Grundsätzen construirt sind, und dass die besseren unter ihnen in der That das leisten, was die Theorie von ihnen voraussetzt, und was die Praxis verlangt.

Hier möge aber zugleich bemerkt sein, dass die an dieser Stelle abgehandelten Principien in demselben Maasse, wie sie Geltung haben für diejenigen Vorrichtungen, die dazu bestimmt sind, mit dem Innern von Blutgefässen in Verbindung gesetzt zu werden, also für Blutdruckzeichner, auch für solche Instrumente gelten, die der äusserlichen Pulsaufschreibung dienen sollen, also für die in einem der folgenden Capitel zu behandelnden Sphygmographen.

Der beste Sphygmograph ist demnach derjenige, bei welchem die bewegte Masse gering und zugleich die der aufzuschreibenden Pulsbewegung entgegenwirkende Kraft recht gross ist. Beiden Forderungen entsprechen nur diejenigen Pulsschreiber, die mit Benutzung elastischer Kräfte construirt sind, also die Federsphygmographen.

Einige weitere Punkte, die bei der Beurtheilung der Wellen- und Pulszeichner Berücksichtigung verdienen, sollen bei der speciellen Beschreibung der betreffenden Vorrichtungen Erwähnung finden.

Drittes Capitel.

Elastische Manometer.

I. Bau und Gebrauchsweise der elastischen Blutwellenzeichner.

Der älteste zu Blutdruckmessungen bestimmte Apparat, welcher die träge Quecksilbersäule vermied und statt ihrer elastische Kräfte einführte, ist das

Flachfedermanometer (Federkymographion) von Fick.

Bei demselben wirkt der Blutdruck auf eine Bourdon'sche Hohlfeder. Die aus dünnem Metallblech hergestellte, platte, kreisförmig

gebogene Röhre *f* (Fig. 173) ist an ihrem oberen Ende geschlossen, ihr unteres ist mit dem Bleirohre *r* verbunden. Hat man ihren Hohlraum mit einer Flüssigkeit gefüllt, so sieht man bei Zunahme des Innendruckes die Feder sich strecken, den Krümmungshalbmesser zunehmen, während sie umgekehrt sich stärker krümmt, sobald der auf sie wirkende Druck abnimmt.

Ist die Feder mit ihrem unteren Ende festgestellt, und ihr oberes freies Ende mit einem Schreibwerk versehen, welches alle Verbiegungen der Feder anzeigt, so kann man nach Verbindung des Bleirohres mit dem Innern eines Blutgefässes die in diesem vorkommenden Blutdruckveränderungen verzeichnen.



Fig. 173.
Flachfedermanometer (Federkymographion) von Fick. (1/4 nat. Gr.)

Als Schreibapparat dient bei dem Fick'schen Instrument eine in der Abbildung mit *h h h* bezeichnete, aus Schilf verfertigte, daher sehr leichte Hebelvorrichtung, die mit der Schreibspitze *s* versehen ist. Da das freie Federende bogenförmige Ausschläge macht, ist der Schreibapparat so eingerichtet, dass er diese Bewegung in eine geradlinig verticale verwandelt. Wie das erreicht wird, lehrt die Abbildung. Zur Dämpfung der Eigenschwingungen des Hebelwerkes dient ein senkrechter mit einem Papierplättchen *p* versehenen Fortsatz, der in ein, in der Figur fortgelassenes, mit Öl oder Glycerin gefülltes Gläschen taucht.

Zum Versuch füllt man die Hohlfeder mit Wasser oder besser mit Spiritus, das Bleirohr *r* mit gerinnunghemmender Flüssigkeit. Dann verbindet man das Rohr mit der Arterie.

Man kann mit dem Instrument auch einen Abscissenschreiber verbinden, der fortlaufend unter der Blutdruckcurve die Nulllinie verzeichnet.

Hering hat an dem Apparat einige zweckmässige Veränderungen angebracht; es sei auf die in Rollett's Physiologie der Blutbewegung

(Hermann's Handb. d. Physiologie Bd. IV 1. Abth. S. 234, Fig. 21) wiedergegebene Abbildung und Beschreibung des Hering'schen Apparates verwiesen.

Marey's elastische Manometer.

Nach sehr ähnlichen Principien construirt, doch zur Aufzeichnung durch Lufttransmission eingerichtet, sind zwei von Marey angegebene Instrumente.

Das eine, das Metallmanometer (manomètre métallique inscripteur) besteht aus einer Metallkapsel, die, aus dünner gewellter Metallmembran hergestellt, bei Veränderungen ihres Innendruckes ihr Volumen entsprechend verändert. In der schematischen Durchschnitts-Zeichnung Fig. 174 ist *k* diese Kapsel; sie hat zwei Auswege, deren einer zur Verbindung mit der Arterie dient, während der andere, für gewöhnlich durch einen Hahn abgeschlossen, zeitweilig mit einem Quecksilbermanometer von capillarem Lumen verbunden werden kann. Der Hohlraum der Kapsel, wie das Zuleitungsrohr wird mit Sodalösung gefüllt.

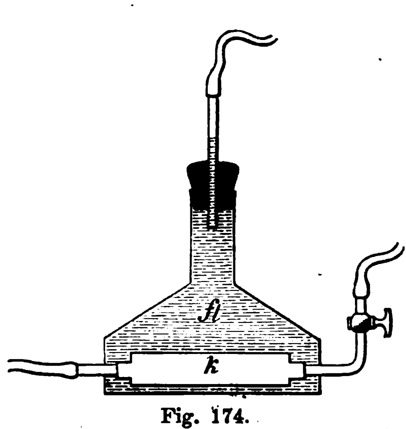


Fig. 174.
Metallmanometer von Marey.

Damit man die Volumveränderungen der Kapsel aufschreiben könne, ist sie in eine Flasche *fl* eingelassen, die oben mit einem durchbohrten Kautschukstöpsel verschlossen ist. Füllt man die Flasche mit Wasser und setzt man sie durch ihre oberste Tubulatur mit einer Marey'schen Schreibkapsel in Verbindung, so werden auf diese alle Volumschwankungen der Metallkapsel und somit alle diese verursachenden Blutdruckveränderungen in der Arterie übertragen und von ihr verzeichnet.

Aehnlich ist das Sphygmoskop von Marey eingerichtet. Es hat den Vorzug, dass man es in jedem Laboratorium zu jeder Zeit aus vorhandenen Materialien leicht herstellen kann, und es gibt recht gute Aufzeichnungen.

Die Metallkapsel ist hier ersetzt durch einen kleinen Kautschukbeutel, einen sogenannten Gummifinger (*f* in Fig. 175), der durch einen von dem Glasrohr *r* durchsetzten Gummistöpsel verschlossen ist. Finger und Rohr werden mit Sodalösung gefüllt und mit der Arterie ver-

bunden. Der Blutdruck wirkt dann kräftig auf das Volumen des elastischen Beutelchens ein, und die Volumschwankungen werden wie bei dem vorher beschriebenen Apparat auf eine Schreibkapsel übertragen. Zu diesem Zwecke steckt man den Gummifinger in ein weites Glasrohr *g*, wie die Abbildung zeigt. Den engen Ausweg desselben versieht man zweckmässiger Weise mit einem Nebenrohr, über welches man ein Stück Gummischlauch streift, der durch einen Quetschhahn *q* verschlossen werden kann. Die Hauptleitung führt zur Zeichenkapsel.

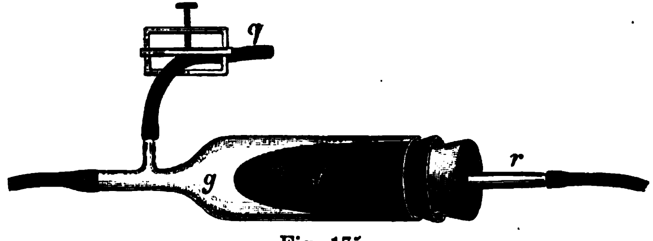


Fig. 175.
Marey's Sphygmoskop. (1/2 nat. Gr.)

Den Quetschhahn kann man bis zum Beginn der Aufzeichnung offen halten; wenn er geschlossen wird, verzeichnet der Schreibhebel die Wellen des arteriellen Druckes. Nur wenn man die Aufzeichnungen zur Messung der Blutdruckhöhe benutzen will, muss man von vornherein das Nebenrohr verschliessen. Oeffnet man es dann nach Beendigung des Versuches, so schreibt der Zeichenhebel die Abscissenaxe an.



Fig. 176.
Blutdruck (Kaninchens.) Art. carotis mit dem Sphygmoskop verbunden.

Abgesehen von der Leichtigkeit der Herstellung dieses einfachen Instrumentes hat ihm die grosse Bequemlichkeit seiner Anwendung viele Freunde verschafft.

Welcher Art die von ihm gelieferten Zeichnungen sind, möge Fig. 176 zeigen. Man erkennt, dass hier pulsatorische und respiratorische Blutdruckschwankungen wohl ausgesprochen sind.

Es muss aber vom Sphygmoskop wie von den anderen bisher angeführten elastischen Schreibmanometern gesagt werden, dass sie zwar sehr geeignet sind, die Frequenz der Herzschläge aufzuzeichnen, dass man auch die Möglichkeit hat, mit ihrer Hilfe Messungen des mittleren

Blutdruckes und auch wohl der Höhe einzelner Wellen vorzunehmen, dass sie aber der Forderung, die Form einer Blutdruckschwankung, besonders einer schnell verlaufenden, wiederzugeben, kaum mehr genügen, als das Quecksilber-Manometer, welches sie zu ersetzen bestimmt waren. Der Grund dafür dürfte z. Th. in der Grösse der Flüssigkeitsverschiebung gelegen sein, die hier noch immer sehr beträchtlich ist. In neuerer Zeit hat man aber, veranlasst durch den Wunsch, die Form der pulsatorischen Blutdruckwelle genau kennen zu lernen, gerade die genaue Wiedergabe dieser von den registrirenden Manometern gefordert.

Besonders Fick und Hürthle haben sich bestrebt, dem bestehenden Mangel abzuhelfen; in der That dürften die aus ihren Bemühungen hervorgegangenen Instrumente den weitgehendsten, in dieser Beziehung gemachten Ansprüchen genügen.

Der neue Wellenzeichner von Fick

ist so eingerichtet, dass der Blutdruck gegen eine Stahlfeder wirkt, deren Ausschläge durch einen mit ihr verbundenen Schreibhebel vergrössert werden.

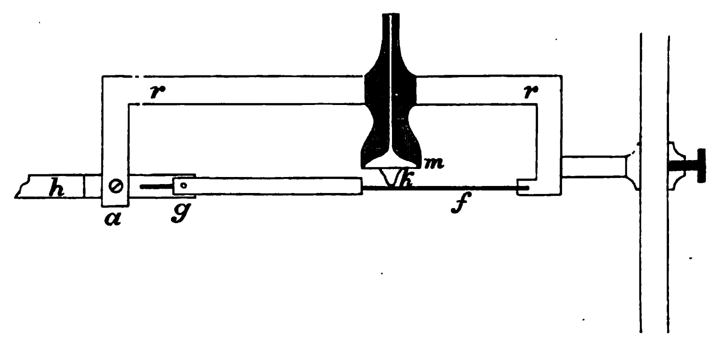


Fig. 177.
Neuer Wellenzeichner von Fick. ($^{2}/_{3}$ nat. Gr.)

Der federharte Stahlstreifen *f* (Fig. 177) ist in einem Metallrahmen *r r* befestigt und trägt an seinem freien Ende ein Schilfstück, welches bei *g* mit einem um die Axe *a* beweglichen, sehr leichten Schreibhebel *h* gelenkig verbunden ist. Das Blut wirkt natürlich nicht direct auf die Feder; vielmehr dient als Zwischenstück eine kleine mit einer zarten Kautschukmembran verschlossene Kapsel. Auf die am besten aus Präservativgummi hergestellte Membran *m* ist ein beinerner Knopf *k* geleimt, der sich dicht an die Feder anlegt und sie zwingt, allen seinen Lageveränderungen zu folgen. Die im Rahmen *r r* verstellbar befestigte Kapsel hat ein fast capillares Lumen,

welches sich nur im unteren Theil flachtellerförmig verbreitert. Fick stellt sie aus Metall her; man kann sich aber auch recht brauchbare Kapseln aus einem Stück Barometerrohr blasen.

Nach Fick füllt man zum Gebrauch nur das tellerförmige Grübchen der Kapsel zur Erzielung völliger Dichte mit einigen Tropfen Wasser an. Der enge Canal bleibt mit Luft gefüllt, und ebenso soll nur mit Luft gefüllt sein das an ihn anzuschliessende, etwa 1 mm^2 im Querschnitt besitzende Glasrohr, welches die Arteriencanüle mit dem Manometer verbindet.

Wirkt der Blutdruck ein, so sucht er die Kapselmembran vorzuwölben und diese übt vermittelst des beinernen Knöpfchens ihren Einfluss auf die Feder und damit auf den Zeichenhebel aus. Natürlich haben bei der gewählten Anordnung selbst hohe Druckschwankungen nur ganz geringfügige Federausschläge zur Folge. In dieser

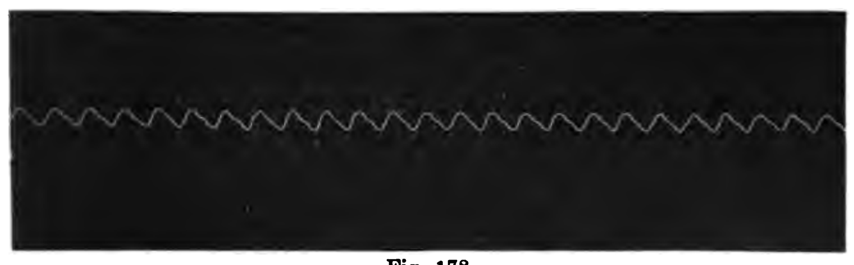


Fig. 178.
Blutdruck (Frosch.) Aorta sin. mit dem Wellenzeichner von Fick verbunden.

Geringfügigkeit der vorkommenden Verschiebungen liegt der Hauptvorzug des Instrumentes. Die Vermeidung wässriger Flüssigkeiten in der Kapsel und in der Leitung soll ebenfalls die Bedeutung haben, nicht ohne zwingenden Grund träge Massen von irgend merklicher Grösse in Schwung kommen zu lassen. Es scheint indessen, als ob der Apparat auch dann fehlerfrei, ja vielleicht noch etwas besser, als bei der von Fick gewünschten Anordnung, arbeitet, wenn man ihn mit einer wässrigen Lösung füllt. Fig. 178 stellt eine mit einem so ausgerüsteten Instrument gewonnene Zeichnung dar. Mit demselben war die linke Aorta eines Frosches verbunden. Die Zacken der Curven entsprechen den Herzschlägen.

Eine allem Anschein nach sehr zweckmässige und auf Grund sehr überzeugender theoretischer Erwägungen ausgeführte Modification des Fick'schen Apparates ist das

Federmanometer von Hürthle,

dessen Form Fig. 179 theilweise wiedergibt.

Auch hier ist eine Kapsel (*k*) mit sehr sparsamem Innenraum verwendet. Ein auf die zarte Membran gekittetes Metallscheibchen ist mit der an ihrem einen Ende natürlich festgeklemmten Stahlfeder *f* durch ein kleines Gabelgelenk (g^1) verbunden. Eine zweite Gabel (g^2) stellt die Verbindung mit dem Schreibhebel *h* her. Da diese Verbindungen nach Belieben entfernter oder näher dem Drehpunkte des Hebels angreifen können, vermag man die Vergrösserung zu verändern.

Die Stahlfeder ist an dem Hürthle'schen Apparat so abgestimmt, dass bei einer 40maligen Hebelvergrösserung ein Druck von 100 *mm* Hg. die Schreibspitze um 1 *cm* hebt. Die Ausschläge der Feder sind also recht gering. Kapsel und Zwischenstücke werden mit Flüssigkeit gefüllt. Hürthle legt besonderen Werth darauf, dass die Verbindungsstücke zwischen Arterie und Manometer kurz und von hinlänglicher Weite seien.

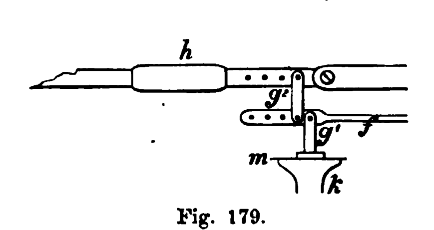


Fig. 179.
Hürthle's Federmanometer.

Derselbe Forscher hat noch ein zweites elastisches Manometer unter dem Namen des

Gummimanometers

eingeführt. Hier wirkt der Blutdruck auf eine Registrirkapsel eigenthümlicher Construction.

Schon mit Hilfe eines gewöhnlichen Marey'schen tambour inscripteur, den man mit einer kräftigen Kautschukmembran versieht, und dessen Höhlung man mit Flüssigkeit füllt, kann man ganz hübsche Blutdruckzeichnungen erhalten. Da indessen, wie Hürthle gezeigt hat, auf die Treue der Aufzeichnungen die Grösse der Flüssigkeitsverschiebung im Manometer von grossem Einfluss ist, diese Verschiebung aber bei der Grösse der Marey'schen Kapsel eine beträchtliche sein muss, können solche Curven keinen Anspruch darauf machen, für einen treuen Ausdruck der wirklich vorkommenden Wellen zu gelten. Zuverlässiger werden die Zeichnungen, wenn man, wie das schon Mosso gethan hat, über Schreibhebel und Kapsel, nahe dem Articulationspunkt des Hebels mit dem senkrechten Fortsatz der Aluminiumplatte, einen widerstandsfähigen Kautschukring streift, der die Ausschläge der Kapselmembran bedeutend einschränkt.

Hürthle erreichte aber noch viel bessere Resultate durch die erhebliche Verkleinerung der Kapselmembran (auf 7 *mm* Durchmesser oder noch weniger), die er bei seinem Gummimanometer eingeführt hat.

Dieser Apparat sowohl, wie das vorher angeführte Federmanometer desselben Autors leisten jedenfalls insofern Vorzügliches, als sie nachweislich selbst sehr schnellen Druckschwankungen (über 200 p. Sec.) zuverlässig folgen. Sie sind geeignet, nicht nur die wahren Beträge der vorkommenden Drucke und Druckvariationen, sondern auch deren zeitlichen Verlauf mit vollständiger Treue wiederzugeben. [1])

Die elastischen Manometer schreiben am besten auf berusstes Papier. Die Benutzung von Farbschreibern, die das Hebelende nicht unbedeutend belasten, ist hier nicht zu empfehlen. Man zeichnet also mit ihnen entweder auf die berusste Trommel, oder, falls man auf lange Papierstreifen nicht verzichten will, auf ein Kymographion mit Hering'scher Einrichtung.

Man verbindet mit ihnen gern einen Abscissenschreiber, d. h. einen am Apparat befestigten Zeichenhebel, der so eingestellt ist, dass die Lage seiner Schreibspitze unveränderlich dem Nulldruckniveau entspricht. Derselbe zeichnet unter der Blutdruckcurve eine fortlaufende Abscissenlinie.

II. Graduirung der elastischen Manometer.

Elastische Manometer erfordern, falls man mit ihrer Hilfe Messungen vornehmen, aus ihren Angaben Schlüsse auf den Werth der aufgezeichneten Druckschwankungen und auf die Höhe des absoluten Druckes ziehen will, eine empirische Graduirung, d. h. eine Vergleichung ihrer Ausschläge mit den Angaben eines *Hg*-Manometers.

Eine solche Aichung des benutzten Instrumentes lässt sich leider nicht ein für alle Male vornehmen, sondern man muss, da die Elasticität der Membranen, Federn u. s. w. Aenderungen unterworfen ist, sie vor jedem Versuch, den man mit dem Apparat machen will, wiederholen.

Um die Graduirung auszuführen, verfährt man folgendermassen. Man lehnt den Schreibhebel des zu prüfenden, wie zur Anstellung eines Blutdruckversuches, doch ohne Druck gefüllten Manometers gegen einen berussten Cylinder. Dann verbindet man das Instrument durch ein Gabelrohr einerseits mit einem Quecksilber-Manometer, andererseits mit einer Vorrichtung, durch welche man Drucksteigerungen im System hervorbringen kann, z. B. mit einem dickwandigen, dicht

---

[1]) Neuestens hat Gad in Gemeinschaft mit Cowl einen elastischen Blutwellenzeichner construirt, bei welchem an die Stelle der Kautschukmembran des Hürthle'schen Gummimanometers ein kleines kreisförmig gewelltes Blechplättchen gesetzt ist. Dieser Apparat scheint in gewissen Beziehungen die oben erwähnten noch zu übertreffen.

schliessenden Kautschukballon. Das zu prüfende Instrument stellt man so auf, dass es in gleicher Höhe mit dem Nullniveau des Quecksilber-Manometers steht.

Indem man den Cylinder ein Stück bewegt und wieder in seine Anfangsstellung zurückdreht, lässt man durch die Schreibspitze die Nulllinie verzeichnen. Uebt man dann mittelst des Ballons Drucke aus, welche die Säule des Quecksilber-Manometers erst um 10, dann um 20, 30 u. s. f. *mm* heben, und verzeichnet man auf der Trommel jedesmal den entsprechenden Stand der Schreibspitze des elastischen Manometers in derselben Weise, wie man die Nulllinie angeschrieben hat, so erhält man ein System von parallelen Linien, deren Erhebung über die Nulllinie angibt, wie hoch das elastische Manometer ausschlägt, wenn auf dasselbe Druckwerthe von 10, 20, 30 u. s. w. *mm Hg.* einwirken. Diese Graduationsscala ist zu benützen, wenn man an die Ausmessung der später gezeichneten Blutdruckcurven geht.

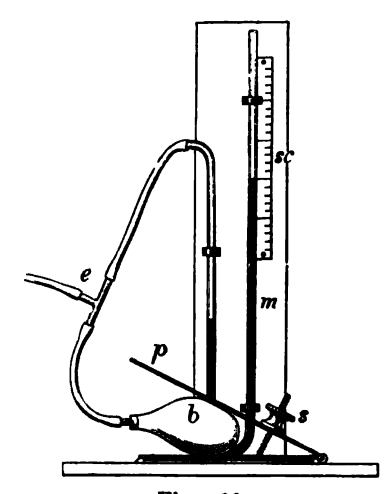


Fig. 180.
Apparat zur Graduirung elastischer Manometer. (1/5 nat. Gr.)

Zur Ausführung der Graduirung kann man sich des in Fig. 180 dargestellten, ursprünglich zu anderen Zwecken von Roy angegebenen Apparates bedienen.

m ist ein mit der Scala *s c* versehenes U-förmiges Quecksilber-Manometer; der eine Schenkel desselben steht durch einen dickwandigen Gummischlauch mit einem T-Rohr in Verbindung, welches einerseits durch seinen Schenkel *e* zu dem zu prüfenden elastischen Manometer führt, andererseits mit der Kautschukbirne *b* verbunden ist. Dieselbe liegt fest auf einem Brett, gegen welches eine mit ihm durch ein Charnier verbundene, über der Birne ruhende Platte *p* mittelst der Schraube *s* bewegt werden kann. Zieht man die Schraube an, so wird die Birne comprimirt, der Druck im System steigt, und beide Manometer machen ihre Ausschläge. Uebt man nun solche Drucke aus, dass die Quecksilbersäule erst auf 10 *mm*, dann auf 20, 30 u. s. f. über den Nulldruck steigt, so erzielt man damit leicht und in sehr kurzer Zeit die gewünschte Graduirung.

Fig. 181 gibt ein Beispiel einer so erhaltenen Aufzeichnung. Sie stellt die Graduationsscala eines neuen Fick'schen Wellenzeichners

dar. Bemerkenswerth ist, dass bei ihm, wie auch bei den Hürthle'schen Vorrichtungen, die Ausschläge des Zeichenhebels den einwirkenden



Fig. 181.
Graduations-Scala eines elastischen Manometers.

Drucken fast genau proportional sind — eine Folge der überaus geringen Verschiebung, welche die elastischen Theile dieser Manometer durch den Druck erfahren.

Eine recht einfache und wie es scheint bequeme Vorrichtung zur Aichung seiner Instrumente hat Hürthle angegeben.

Sie besteht (Fig. 182) aus einer bei *k* kugelig erweiterten Manometerröhre, die an ihrer Krümmung einen mit einem Kautschukbeutelchen *b* armirten Ansatz trägt. Beutel und Röhre sind bis zur halben Höhe der Kugel mit Quecksilber gefüllt. Der über dem Quecksilber in der Kugel bleibende Raum sowie das mit dem Schlauchansatz *a* verbundene elastische Manometer enthält Wasser.

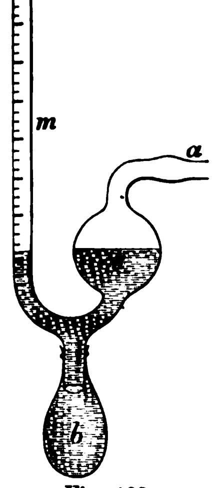


Fig. 182.
Graduirungsvorrichtung von Hürthle.

Ist der Nulldruck verzeichnet, so kann man durch Compression des Beutels beliebige Druckgrössen herstellen und aufschreiben. Das Quecksilber wird, da in das (Hürthle'sche) Manometer nur ausserordentlich wenig Flüssigkeit eindringen kann, fast allein in den freien Schenkel des Quecksilber-Manometers entleert. Man kann deshalb die Höhe des Druckes direct auf der in ihn eingeätzten Millimeterscala ablesen.

Das oben abgebildete Metall-Manometer von Marey (Fig. 174) kann, wie erwähnt, zeitweilig mit einem capillaren Quecksilber-Manometer in Verbindung gesetzt, der absolute Druck also zu jeder beliebigen Zeit abgelesen werden.

Vierter Abschnitt.

Registrirung des Pulses, des Organvolumens und der Strömungsgeschwindigkeit des Blutes.

Erstes Capitel.

Aufschreibung des Pulses. (Sphygmographie.)

Für die Registrirung des äusserlich wahrnehmbaren Arterienpulses ist, entsprechend den Bedürfnissen der medicinischen Praxis, eine nicht unbeträchtliche Anzahl von Apparaten empfohlen worden. Nur wenige haben sich indessen allgemeinen Eingang verschafft.

Bei der Beurtheilung solcher Instrumente wird man sich der Grundsätze zu erinnern haben, die nach theoretischen und experimentellen Ermittelungen für die Herstellung von Wellenzeichnern im Allgemeinen als maassgebend erkannt worden sind. Sie gelten, wie das schon oben (vgl. S. 212) ausgesprochen worden ist, mutatis mutandis auch für die Pulszeichner.

I. Directe Sphygmographen.

Der erste Sphygmograph ist von Vierordt construirt worden. Er bestand aus einem Hebel, der unter variabler Gewichtsbelastung auf die pulsirende Stelle (Radialishügel u. a.) aufgesetzt werden konnte. Der Hebel trug ein Schreibwerk, welches mit einer nach Art des Watt'schen Parallelogrammes eingerichteten Geradführung versehen war (vgl. Fig. 33 S. 51).

Das Instrument war sehr schwerfällig, die von ihm gelieferte Pulszeichnung, wie sich alsbald ergab, fehlerhaft. Bei der Grösse der hier in Bewegung gesetzten Masse konnte es auch kaum anders sein; dass dieselbe theilweise äquilibrirt war, konnte die verhängnisvollen Wirkungen ihrer Trägheit nur steigern.

Sphygmographen von Marey, Mach und Ludwig.

Wenige Jahre, nachdem Vierordt seinen Pulszeichner beschrieben hatte, zeigte Marey durch die Construction seines Sphygmographen, wie ein solches Instrument beschaffen sein muss, um treue Zeichnungen der Pulsbewegung zu liefern.

An Stelle eines schweren Hebelwerkes ist hier ein leichter einfacher Schilfhebel getreten, und anstatt der Gewichtsbelastung wirken auf die pulsirende Arterie elastische Kräfte.

Dieser Apparat ist für die Pulslehre von hoher Bedeutung geworden. Die mit seiner Hilfe gewonnenen Curven liessen am Arterienpuls des gesunden Menschen Einzelheiten erkennen, die der tastende Finger nur bemerkt hatte, wenn sie unter pathologischen Bedingungen sich übertrieben stark geltend machten (Dikrotie), und von denen das Instrument von Vierordt auch nicht eine Spur wiedergegeben hatte.

Diese Pulszeichnungen bildeten den Ausgangspunkt einer langen Reihe von Discussionen. Viele hielten die secundären Wellen der Curven für Artefacte, für die Folge eines fehlerhaften Baues des Instrumentes. Die von mehreren Forschern unternommene Experimen-

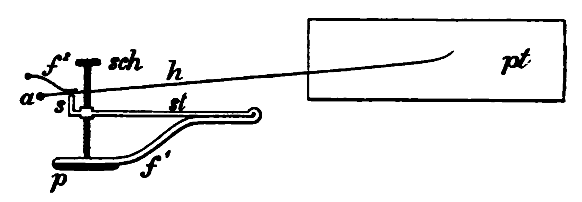


Fig. 183.
Schema der Marey'schen Sphygmographen älterer Construction.

talkritik[1]) hat indessen überzeugend nachgewiesen, dass davon nicht die Rede sein kann, dass vielmehr der Marey'sche Sphygmograph, besonders in seiner neuen Gestalt, ein in den Grenzen seines Wirkungsbereiches vollkommen zuverlässiges Registririnstrument ist.

Für die Benutzung am Krankenbett ist der Sphygmograph besonders auch deshalb geeignet, weil Marey mit dem Schreibapparat ein kleines Uhrwerk verbunden hat, das eine leichte, zur Aufnahme der Zeichnung bestimmte Platte mit passender Geschwindigkeit an der Schreibspitze vorüberbewegt.

Fig. 183 gibt eine schematische Skizze, welche die Einrichtung des ursprünglich von Marey angewendeten, übrigens auch heut noch sehr brauchbaren Instrumentes erläutern möge. (Fig. 183 sowie die beiden folgenden Abbildungen sind im Wesentlichen nach schematischen Zeichnungen von Mach wiedergegeben). *pt* ist die in einer senkrechten Ebene sich horizontal verschiebende Schreibplatte. Der leichte Zeichenhebel *h* ist in der Axe *a* beweglich; auf ihn wirkt von unten

[1]) Einer der Ersten, die eine solche geübt haben, ist v. Wittich gewesen.

her ein Metallstück *st*, das an seinem einen Ende eine kleine verticale Schneide *s* trägt, auf welcher der Hebel spielt. Das andere Ende dieses Metallstückes stützt sich auf eine starke, gebogene, die Elfenbeinpelotte *p* tragende Stahlfeder f^1. Wirkt von unten her ein wechselnder Druck auf die Pelotte, ist sie also z. B. über der pulsirenden Radialarterie befestigt, so übertragen sich ihre Bewegungen auf den Schreibhebel *h* durch Vermittelung einer, das Metallstück *st* durchsetzenden Schraube *sch*, die man nach erfolgter Fixation des Instrumentes bis zur Berührung mit der Feder f^1 einstellt. Da man diese Feder verschieden stark spannen kann, vermag man nach Belieben grössere oder kleinere elastische Kräfte auf die pulsirende Arterie wirken zu lassen.

Der Puls hebt also, die elastische Kraft der Feder überwindend, das Stück *st* und setzt so den Schreibhebel in Bewegung. Um diesen unter allen Verhältnissen an die Schneide angedrückt zu erhalten, wirkt auf ihn von oben her eine kleine schwache Feder f^2.

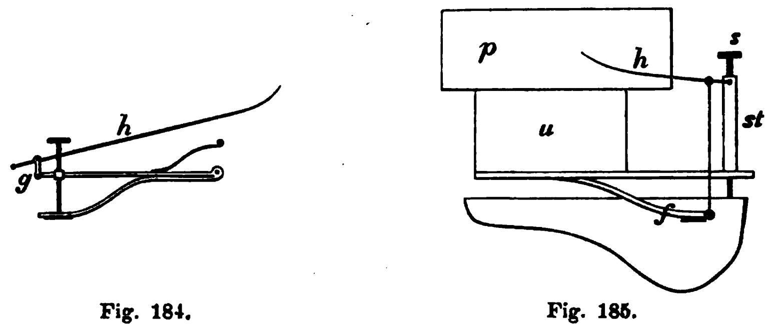


Fig. 184. Fig. 185.

Sphygmographen von Mach.

Sicherer wird derselbe Zweck erreicht durch eine Modification des Sphygmographen, welche Mach vorgeschlagen hat. (Fig. 184.)

Hier wird nämlich die Verbindung von *st* und *h* durch ein Stäbchen *g* hergestellt, das mit beiden Theilen gelenkig verbunden ist.

Mach hat noch ein anderes Instrument ersonnen, welches sehr einfach und zweckentsprechend zu sein scheint (S. Fig. 185), und dessen Construction ebenfalls an den Marey'schen Sphygmographen anknüpft.

Bei diesem Pulszeichner articulirt der Schreibhebel *h* durch ein Zwischenstück direct mit der die Pelotte tragenden Feder *f*. Seine Einstellung besorgt die Schraube *s*, welche die das Axenlager des Zeichenhebels tragende kleine Säule *st* passend verschiebt; *p* ist die Schreibplatte, die durch das in *u* enthaltene Uhrwerk in Gang gesetzt wird.

Bei dem neueren, gegenwärtig in den meisten Laboratorien und Kliniken gebräuchlichen Marey'schen Sphygmographen ist im Wesentlichen die ursprüngliche Construction beibehalten worden; im Einzelnen hat man aber Verbesserungen daran angebracht, die den Apparat leistungsfähiger und dabei bequemer und einfacher gemacht haben.

Es finde hier zunächst eine Zeichnung Platz, welche die Art und Weise erläutern soll, wie bei dem neueren Instrument die federnde Pelotte ihre Bewegung auf den Schreibhebel überträgt. Diese Einrichtung ist zuerst von Béhier getroffen worden.

Fig. 186.
Verbindung von Schreibhebel und Pelotte beim neueren Marey'schen Sphygmographen. (nat. Gr.)

Mit dem Pelottenstück (*p*) der Sphygmographenfeder ist durch ein Charniergelenk ein Metallstäbchen *s* verbunden, in welches ein Schraubengewinde eingeschnitten ist. Stellt man diese Schraube senkrecht, so greift sie mit ihren Windungen in ein kleines Zahnrad *z* ein, welches neben dem

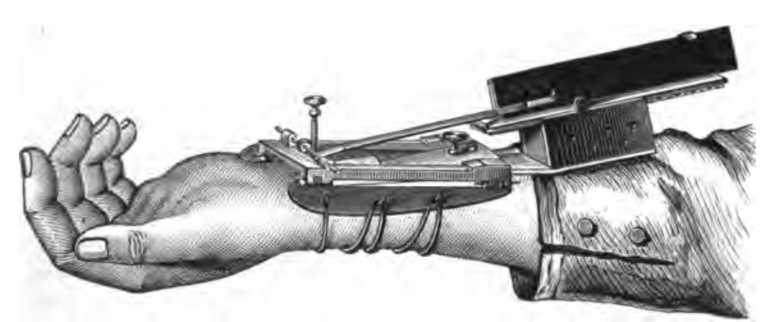


Fig. 187.
Sphygmograph von Marey (neuere Construction).

Schreibhebel *h*, auf dessen in Spitzen sehr leicht beweglicher Axe *a* befestigt ist. Wenn sich die Pelotte hebt, so nimmt die dadurch ebenfalls gehobene Schraube das Zahnrädchen mit und bewirkt auf diese Weise eine kleine Drehung der Axe, die der Zeichenhebel vergrössert wiedergibt.

Fig. 187 stellt den ganzen Apparat (nach einer von Marey in dem Werk La circulation du sang gegebenen Abbildung) mit Uhrwerk und Schreibplatte und in seiner Befestigung am Handgelenk — also zur Aufzeichnung des Radialispulses eingerichtet — dar.

Das vortrefflich gearbeitete Uhrwerk bewegt vermittelst einer Triebvorrichtung einen abnehmbaren metallenen Rahmen, in welchem sich eine mit Glanzpapier überspannte Aluminiumplatte leicht befestigen lässt. Die Geschwindigkeit der Fortbewegung ist auf 12 bis 15 *mm* per Sec. normirt.

Der leichte Zeichenhebel liegt der Schreibplatte parallel, seine metallene federnde Spitze ist zur Platte abgebogen.

Die starke Feder des Instrumentes trägt an ihrem freien Ende die Pelotte; an ihrem anderen ist sie durch eine Pressschraube festgestellt, durch deren stärkere oder schwächere Anziehung ihre Spannung innerhalb gewisser Grenzen verändert werden kann. Mit der Feder ist in der angegebenen Weise das Schraubenstäbchen (*s* in Fig. 186), mit der Axe des Schreibhebels das Zahnrädchen (*z* in Fig. 186) verbunden.

Die Fixirung des Sphygmographen am Vorderarm geschieht vermittelst zweier hölzerner, innen mit Tuch gefütterter Schienen;



Fig. 188.
Puls der Art. radialis, mit Marey's Sphygmograph aufgezeichnet.

sie werden durch ein Band befestigt, das man um die in der Abbildung erkennbaren Häkchen abwechselnd von einer Schiene zur andern über die Dorsalseite des Vorderarmes schlingt.

Bevor die Befestigung geschieht, ist der die Zeichenplatte tragende Rahmen zu entfernen und das mit der Pelotte articulirende Schraubenstäbchen in seinem Charniergelenk so umzulegen, dass es das Zahnrädchen vorderhand nicht berührt. Hat man auf den in passender Lage befindlichen Arm — der Hand gibt man am besten eine etwas überextendirte und supinirte Stellung, die Finger werden zwanglos gebeugt — das Instrument so aufgesetzt und befestigt, dass die Pelotte mit dem zweckmässig erscheinenden Druck auf derjenigen Stelle ruht, die der stärksten Pulserhebung entspricht, so setzt man den Rahmen mit der Schreibplatte ein und richtet die Pelottenschraube so auf, dass sie in das Axenrädchen eingreift. Der Schreibhebel beginnt dann sofort seine Bewegungen. Man sorgt dafür, dass seine Spitze nur leise gegen die Papierfläche reibt. Dann löst man die Hemmung des Uhrwerkes aus und lässt die Curve anschreiben.

Gewöhnlich schreibt man auf berusstes Papier; doch kann man den Hebel auch mit einem kleinen, sehr leicht gearbeiteten Farbschreiber versehen und diesen auf weisses Papier zeichnen lassen.

In Fig. 188 ist eine von der Art. radialis eines jungen Menschen mit dem Marey'schen Sphygmographen gewonnene Curvenzeichnung reproducirt. (Vgl. dazu Fig. 192 und 193). Man erkennt den steilen Anstieg der Curve und ihren ziemlich spitzen Gipfel. Der absteigende Theil hat einen langsameren Verlauf; er weist mehrere secundäre Wellen auf; unter ihnen tritt besonders eine hervor, die etwa in die Mitte dieses Curventheiles fällt. Sie ist die Rückstosselevation (dikrotische Erhebung) der Autoren, und wird wahrscheinlich hervorgebracht durch eine Reflexion der Pulswelle an den Aortenklappen. Die anderen secundären Zacken, besonders auch die der Rückstosselevation vorhergehende, sicher zu deuten, ist bis jetzt nicht gelungen.

Von den zahlreichen Modificationen des Marey'schen Sphygmographen, die in Vorschlag gebracht worden sind, verdient ausser den beiden Mach'schen Instrumenten, deren schon oben gedacht worden ist, besonders der Laboratoriums-Sphygmograph Erwähnung, welcher von dem Mechaniker Petzold in Leipzig auf den Rath von C. Ludwig construirt worden ist.

Derselbe ist so eingerichtet, dass er auf die allgemeine Kymographiontrommel zeichnen kann; Uhrwerk und Schreibplatte sind demgemäss fortgelassen.

Auf der mit der Arterienpelotte ausgerüsteten Feder ist, und zwar vermittelst eines Kugelgelenkes, die Schraube ohne Ende angebracht, welche, wie beim Marey'schen Apparat, in das auf der Schreibhebelaxe befindliche Zahnrädchen einzugreifen hat. Der Schreibhebel, welcher mit einer einfachen und leichten Vorrichtung zur Geradführung der Schreibspitze versehen ist (vgl. Fig. 36, S. 52), steht senkrecht zur Längsaxe des Instrumentes, ragt also seitlich über das letztere und den dasselbe tragenden Vorderarm heraus, so dass die Zeichenspitze bequem an den bewegten Cylinder angelegt werden kann.

Der Arm der untersuchten Person muss hier natürlich festgestellt werden, damit die Aufschreibung nicht durch unwillkürliche Bewegungen gestört werde. Diesem Zwecke dient ein auf dem Experimentirtisch festzuklemmender Armhalter, welcher den Vorderarm stützt, während die Hand einen hölzernen Griff umklammert. Ist der Arm in die richtige Stellung gebracht, so wird zunächst ein Rahmen auf ihm befestigt, auf welchen dann der Arbeitstheil des Schreibapparates aufgeschraubt wird. Diese Einrichtung bietet unzweifelhaft Vortheile,

wenn es sich darum handelt, im Laboratorium längerdauernde sphygmographische Aufzeichnungen zu machen, und wenn man gleichzeitig mit dem Puls noch andere Vorgänge graphisch darstellen will. Am Krankenbett wird dagegen das Marey'sche Instrument mehr am Platze sein.

Der Angiograph von Landois.

Dieses Instrument, von welchem Fig. 189 eine den Landois'schen Schriften entlehnte schematische Abbildung gibt, geht im Gegensatz zu den bisher erwähnten Pulsschreibern auf das Princip der Gewichtssphygmographie zurück. Die auf der Arterie ruhende Pelotte *p* setzt durch Vermittelung der kleinen Zahnstange *z* und des Zahnrädchens *r* den Schreibhebel *h* in Bewegung. Die Kraft, mit welcher die Pelotte auf das Blutgefäss drückt, kann da-

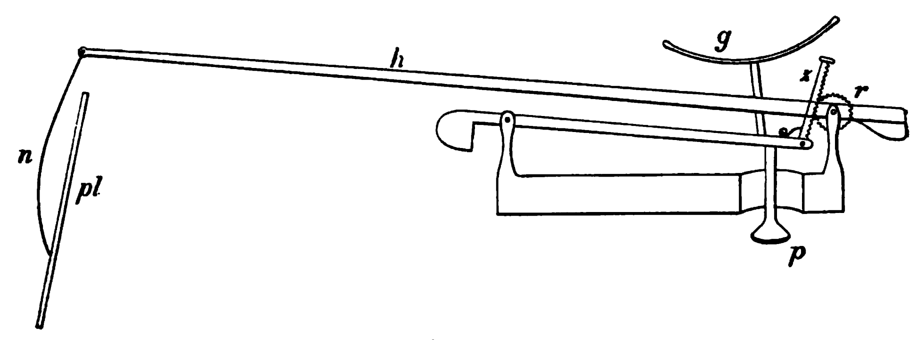


Fig. 189.
Angiograph von Landois.

durch beliebig verändert werden, dass man in die mit ihr verbundene Schale *g* Gewichte legt. Am Hebel ist die Geradführung der Schreibspitze in eigenthümlicher Weise dadurch erreicht, dass an sein Ende eine gebogene Nadel *n* gelenkig angefügt ist, die durch ihre Schwere herabhängt und sich an die hinter ihr vorbeibewegte, mit einer Russschicht bedeckte Platte *pl* mit gelindem Druck anlegt.

In der Hand eines vorsichtigen und geübten Untersuchers scheint auch ein Instrument dieser Art zum Ziele zu führen, obwohl es nicht den Grundsätzen entspricht, die der obigen Auseinandersetzung nach für die Einrichtung von Pulszeichnern massgebend sein sollten. Die schönen von Landois mehrfach mitgetheilten Aufzeichnungen legen davon Zeugnis ab.

Der Dudgeon'sche Sphygmograph.

Derselbe ist originell in Bezug auf seine Schreibvorrichtung sowie durch die Art und Weise, wie bei ihm das die Zeichnung aufnehmende Papier fortbewegt wird.

Die beistehende Abbildung (Fig. 190) gebe zunächst von diesem Bewegungsmodus, der übrigens auch bei anderen neueren Sphygmographen schon mehrfach acceptirt worden ist, eine Vorstellung. Mit einer Axe des in einem kleinen Gehäuse befindlichen Uhrwerkes *u* ist eine Welle *w* in Verbindung, auf welcher sich zwei Zahnrädchen *z z* befinden. Eine zweite, hier nicht sichtbare, in entgegengesetzter Richtung wie die erste sich drehende Welle, die aber keine Räder führt, geht parallel zur ersten und unterhalb derselben. Der berusste Glanzpapierstreifen *p*, dem man eine beliebige Länge geben kann, wird ohne Weiteres so zwischen beide Wellen geschoben, dass die Rädchen ihn bei ihrer Rotation erfassen und fortführen. Seine horizontale Lage ist innerhalb des in Betracht kommenden Gebietes durch stützende Bügel, die hier verdeckt sind, gesichert.

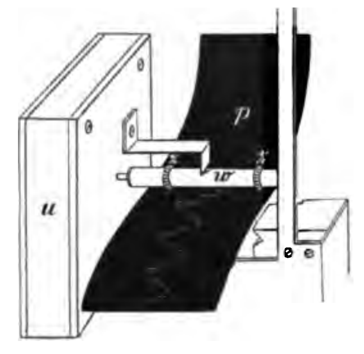


Fig. 190.
Fortbewegung des Papierstreifens beim Dudgeon'schen Sphygmographen.

Den vollständigen Apparat gibt die Abbildung Fig. 191 wieder. Sie stellt ihn in der Gestalt dar, die ihm meines Wissens von Richardson gegeben worden ist.

Leider ist das ursprünglich mit Federkraft arbeitende Instrument in dieser Modification, nicht zu seinem Vortheil, zu einem Gewichtssphygmographen geworden. Die Pelotte *p* wird nämlich durch das auf einem horizontalen, mit einer Theilung versehenen Arm verschiebbare Laufgewicht *g* an die Arterie angedrückt. Je nachdem man dasselbe weiter oder weniger weit von der Pelotte wegrückt, übt dieselbe einen stärkeren oder schwächeren Druck aus.

Mit der Pelotte steht die Schreibvorrichtung in Verbindung. Dieselbe ist ganz eigener Art. Ein verticaler steifer Draht d^1 trägt eine Oese, durch die ein zweiter .oben winkelig abgeknickter und an seiner Knickungsstelle an einer drehbaren Axe *a* befestigter Draht d^2 hindurchgeht. An seinem oberen, abgebogenen Ende trägt dieser eine kleine Kugel, mit seinem unteren ist durch Vermittelung eines Gelenkes die Schreibspitze *s* verbunden. Geht d^1 aufwärts, so muss die

Schreibspitze sich in der Richtung zum Uhrwerk hin bewegen, sinkt die Pelotte zurück, so geht auch die Spitze wieder in ihre Ruhestellung.

Das Schreibpapier liegt hier wieder zwischen zwei Wellen, die in dieser Abbildung beide sichtbar sind. Die untere Welle (*w*) ist glatt, die obere trägt an Stelle der beiden Zahnräder des ursprünglichen Apparates eine Reihe gleichmässig gezähnter Rädchen (*z*, *z*, *z*).

In der Abbildung ist auch der eine von den Bügeln sichtbar, die den mit Russ geschwärzten Papierstreifen stützen.

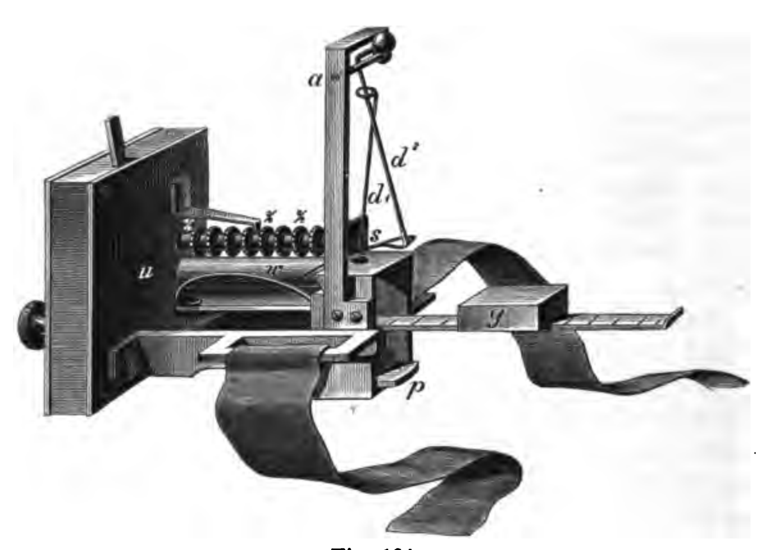


Fig. 191.
Dudgeon'scher Sphygmograph (modificirt). (fast nat. Gr.)

Wird der letztere durch die Thätigkeit der beiden Wellen fortbewegt, so muss die rhythmische Bewegung der Schreibspitze, die sich, wie beim Landois'chen Instrument, geradlinig auf- und abbewegt und nicht bogenförmige Ausschläge macht, wie die Schreibspitze des Marey'schen Sphygmographen, auf ihm ihre Spur hinterlassen. Zugleich aber wird die Zeichnung von einer Schaar von parallelen unterbrochenen Horizontallinien durchsetzt erscheinen, da sich die jedesmalige Berührung des Papiers mit den Zähnchen der oberen Welle auf ihm markirt. Man erhält auf diese Weise eine Zeichnung, wie Fig. 192 sie zeigt.

Diese unterbrochenen Parallelen bieten bei der Ausmessung der Curven gewisse Erleichterungen. Sie stellen zugleich eine Art von Chronogramm dar, freilich nicht in dem Sinne, dass durch sie die Exactheit des Uhrwerkes controlirt werden könnte, sondern nur insofern, als die Abscisse in gleiche, ihrem Zeitwerth nach bekannte Theile zerlegt wird.

Die Befestigung dieses Sphygmographen am Vorderarm geschieht in sehr einfacher Weise vermittelst einer leicht zu fixirenden Bandschlinge.

Die Handlichkeit des Dudgeon-Richardson'schen Sphygmographen, die Möglichkeit, mit ihm ohne sonderliche Mühe lange Curvenzeichnungen zu gewinnen, die Leichtigkeit, mit welcher hier das Papier eingesetzt werden kann, dies sind die Vorzüge, die diesem Instrument viele Freunde gewonnen haben. Mir selbst fehlen ausgedehntere eigene Erfahrungen über dasselbe; ich muss aber hervorheben, dass man gegen seine Construction mancherlei principielle Einwände erheben kann.

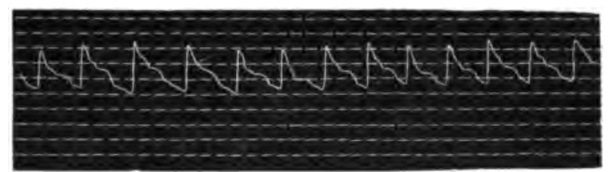


Fig. 192.
Radialispuls, mit dem Sphygmograph von Dudgeon gezeichnet.

Die bei ihm gegebene, wahrscheinlich übrigens illusorische, Möglichkeit, den Betrag des Gewichtes anzugeben, welches auf der Arterie lastet, ist wohl kein so grosser Gewinn, dass er die Nachtheile des benutzten Belastungsmodus aufwiegen könnte. Zumal dann, wenn man stark belasten muss, das Laufgewicht also weit vorzuschieben hat, wirkt dasselbe an einem langen Hebelarme. Es kommen dann nicht allein grosse Massen in Bewegung, sondern diese erfahren dabei auch noch eine grosse Beschleunigung.

Auch die Construction der Schreibvorrichtung ist nicht unbedenklich. Weder sind hier die Reibungswiderstände verschwindend klein, noch ist das Gebot, den Schreibhebel sehr leicht zu machen, befolgt.

Da das Instrument zweifellos grosse Vorzüge besitzt, wäre es wünschenswerth, dasselbe in eine Form gebracht zu sehen, in der es den theoretischen Anforderungen besser genügte. Jedenfalls dürfte es sich in seiner ursprünglichen Gestalt mehr empfehlen als in der Richardson'schen Modification. Am brauchbarsen wäre ein Sphymograph der die Vorzüge des Marey'schen Schreibwerkes mit denen der von Dudgeon eingeführten Bewegungsweise des Papierstreifens verbände.

II. Transmissionssphygmographen.

Der Wunsch, den Arterienpuls während längerer Zeiträume fortlaufend zu registriren und mit seiner Aufzeichnung diejenige anderer Bewegungen, z. B. des Herzstosses, verbinden zu können, hat dazu

geführt, das so vielfach benutzte Luftübertragungsverfahren auch für die Pulsschreibung zu verwerthen. Dieses Verfahren macht es zudem möglich, die Pulsbewegung beliebiger, oberflächlich gelegener und stark genug pulsirenden Arterien aufzuzeichnen, während die directen Sphygmographen sich wohl nur an der Radialis mit Bequemlichkeit anbringen lassen.

Schon mit Hilfe des oben beschriebenen Marey'schen Kardiographen kann man von manchen Arterien, z. B. von der Karotis, sehr gute Pulszeichnungen erhalten (s. Fig. 193.)



Fig. 193.
Karotidenpuls (Kardiograph).

Den Pelottenknopf der Aufnahmekapsel braucht man zu diesem Zwecke nur an die Stelle der stärksten Pulsation mässig anzudrücken; besser ist es, die Kapsel durch eine Bandage, bei der Karotis durch ein Halsband zu befestigen. Stellt man dann durch eine mit Ventil versehene Schlauchleitung die Verbindung mit einer Marey'schen Zeichenkapsel her, so übertragen sich auf diese die Pulsationen mit grosser Treue.

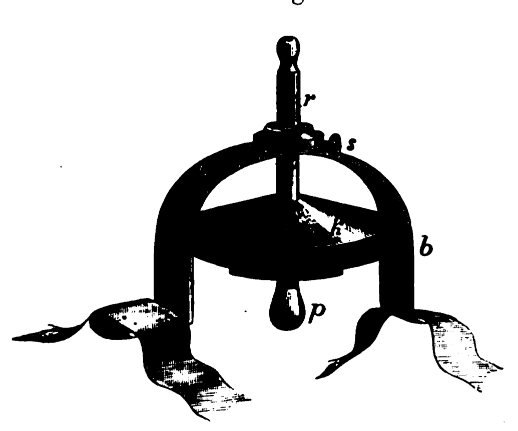


Fig. 194.
Pansphygmograph von Brondgeest.

Eine für diese Zwecke gleichfalls zu empfehlende Aufnahmekapsel ist von Brondgeest angegeben und als Pansphygmograph bezeichnet werden.

Die Metallkapsel *k* (in Fig. 194) ist wie beim Marey'schen Tambour durch eine Membran geschlossen; auf diese ist ein mit einem Pelottenknopf *p* versehenes Holzscheibchen gekittet. Das Ausgangsrohr *r* lässt sich in einer Hülse verschieben und durch die Schraube *s* feststellen. Die Hülse ist fest verbunden mit einem metallenen Bügel *b b*, der durch Bänder an der betreffenden Extre-

mität befestigt werden kann. Ist der Bügel an passender Stelle festgebunden, so verschiebt man *r* in seiner Hülse so lange, bis der Pelottenknopf einen mässigen Druck auf die pulsirende Stelle übt. Dann stellt man die Kapsel fest.

Grösseren Anforderungen genügen die Aufnahmekapseln, welche Knoll und Grunmach an ihren Polygraphen angebracht haben. Hier wirkt der Puls nicht direct, sondern durch Vermittelung einer Feder von variabler Spannung auf die Kapsel ein. Die Instrumente der genannten Autoren sind Modificationen eines von Meurisse und Mathieu angegebenen Apparates. Die Knoll'sche Einrichtung ist bereits oben (Fig. 160 S. 192) abgebildet worden.

Marey hat einen hauptsächlich für die Radialarterie bestimmten Transmissionssphygmographen angegeben, welcher ganz ähnlich gebaut ist, wie sein directer Sphygmograph; nur ist die Feder *ff* (Fig. 195), deren Pelotte auf den Radialishügel aufzusetzen ist, anstatt mit einem Schreibhebel, durch den in einem Kugelgelenk beweglichen Stift *st*



Fig. 195.
Transmissionsphygmograph von Marey. (1/2 nat. Gr.)

mit einer Luftkapsel (*k*) verbunden. Das Abzugsrohr derselben *r* steht mit der Zeichenkapsel in Verbindung. s^1 ist eine Schraube, die zur Regulirung des Federdruckes dient; die Schraube s^2 stellt die Aufnahmekapsel in der passenden Lage fest. Dieses Instrument wird mit Hilfe zweier Schienen auf den Vorderarm in ganz ähnlicher Weise aufgebunden wie der directe Sphygmograph. Es fungirt, wie eigens darauf gerichtete Untersuchungen gezeigt haben, vollkommen zuverlässig.

Auch bei Marey bildet der Transmissionssphygmograph einen Theil seines Polygraphen. Man hat mit diesem Namen Vorrichtungen bezeichnet, die alle zur graphischen Untersuchung von Herzstoss und Arterienpuls beim Menschen nothwendigen Instrumente in compendiöser Gestalt enthalten und die in Folge dessen sich besonders zur Verwendung am Krankenbett eignen. Es bestehen demnach solche Polygraphen aus einem durch ein Uhrwerk bewegten Cylinder, aus zwei bis drei Schreibkapseln und aus den entsprechenden Explo-

rationskapseln, die auf das Herz, auf eine Arterie, wohl auch, zur Aufzeichnung der Athmung, auf den Thorax oder Bauch aufgesetzt werden. Dazu kommt bei einigen Polygraphen noch eine Vorrichtung zur Zeitschreibung. Der ganze Apparat pflegt in einem verschliessbaren Kasten enthalten zu sein, so dass man ihn mit Bequemlichkeit transportiren kann.

Solche Polygraphen sind von Brondgeest, von Marey, von Meurisse und Mathieu, Grunmach, Knoll angegeben worden.

III. Verschiedene Methoden der Pulszeichnung.

Wenn es nicht darauf ankommt, exacte Sphygmogramme zu erhalten, so kann die graphische Darstellung des Pulses mit den einfachsten Hilfsmitteln geschehen. Befestigt man das eine Ende eines langen zugespitzten Strohhalmes mit etwas Wachs oder durch einen Gummiring über der pulsirenden Radialarterie, so erhält man Ausschläge, die man auf ein berusstes Papier sich verzeichnen lassen kann.

Von freigelegten Arterien von Thieren kann man mit einfachen Fühlhebeln ganz gute Pulszeichnungen erhalten. Man muss nur dafür möglichst Sorge tragen, dass der Hebel nicht schleudert. Setzt man z. B. auf die isolirte Carotis des Kaninchens, unter die man ein Paar Lagen Gummipapier oder auch einen schmalen Objectträger geschoben hat, einen Fühlhebel von der in Fig. 39 S. 55 dargestellten Form, und versieht man den verticalen Fortsatz desselben mit einem Hollundermarkplättchen, welches sich an der Arterie gewissermassen festsaugt, so kann man Zeichnungen von grosser Zierlichkeit erhalten, welche beispielsweise die Dikrotie des Pulses deutlich erkennen lassen. Von der Aorta, deren Pulsbewegungen sehr erheblich sind, kann man, wie Hürthle gezeigt hat, gute Pulszeichnungen erhalten, wenn man einen äquilibrirten Schreibhebel durch ein Häkchen mit der Gefässwand verbindet.

Ueber optische Methoden, deren man sich, wie zuerst Czermak gezeigt hat, zur Aufschreibung des Arterienpulses bedienen kann, ist schon im allgemeinen Theil (Abschn. IV) das Nöthige mitgetheilt worden. Namentlich kommt hier das photographische Verfahren in Betracht. Dasselbe dürfte besonders für die Controle anderer sphygmographischer Verfahren werthvoll werden, weil bei seiner Benutzung träge Massen so gut wie gänzlich ausgeschlossen werden können, die Vergrösserung des Pulsausschlages hier vielmehr vermittelst des schwerlosen „Lichthebels“ erfolgt. Einen besonderen Vortheil bietet dasselbe auch dadurch dar, dass dabei jede stärkere Be-

lastung des zu untersuchenden Gefässes, die ja bei allen anderen Sphygmographen nicht zu vermeiden ist, ausgeschlossen werden kann.

Als Controlverfahren ist ebenfalls werthvoll die hämautographische Methode, die Landois eingeführt hat.

Schneidet man eine kleine Arterie an, und führt man senkrecht an dem hervorspritzenden Blutstrahl einen Bogen weissen Papiers vorbei, so zeichnet das Blut seine Bewegung selbst auf.

Die gewonnenen Curven (Fig. 196) zeigen sehr schön die dikrotischen Wellen und lassen auch andere Einzelheiten erkennen.



Fig. 196. Haemautographische Curve von der Art. tibialis post. eines Hundes (nach Landois). (1/2 nat. Gr.)

Die Hämautographie leitet hinüber zu derjenigen Art der Pulswellenzeichnung, die an der eröffneten Arterie mit Hilfe von Manometern ausgeführt wird, die also nur am Thiere anwendbar ist. Ueber die für diesen Zweck besonders geeigneten Instrumente (elastische Wellenzeichner) ist oben, bei der Lehre von der Aufschreibung des Blutdruckes berichtet worden.

Ob die mit Hilfe manometrischer Vorrichtungen gewonnenen Pulscurven ohne Weiteres mit den durch äussere Sphygmographie erhaltenen verglichen werden dürfen, ist eine Frage, die man nicht ohne Weiteres bejahen kann, die jedenfalls noch der näheren Untersuchung bedarf.

Dasselbe gilt von der plethysmographischen Pulszeichnung, die im folgenden Capitel abgehandelt werden soll.

Zweites Capitel.

Plethysmographie.

Die Blutmenge eines Organs ist bekanntlich nicht constant. Sie wechselt unter den verschiedensten äusseren und inneren, centralen und peripherischen Einflüssen; sie wechselt mit der Athemphase und mit den Herzschlägen. Die durch die letzteren bedingten Schwankungen haben ganz besonders die Aufmerksamkeit der Forscher erregt. Wir sehen an jeder isolirten Arterie, dass ihr Volumen beim Eintritt der Pulswelle sich vergrössert, um dann wieder abzunehmen. Die

pulsatorischen Schwankungen nun, welche das Volumen einer ganzen Extremität, einer Drüse aufweist, sind nichts anderes als der Totalpuls aller der in dem Organ enthaltenen Arterien.

Andere Volumveränderungen der Organe sind gleichfalls rhythmisch, doch von anderer Periode wie die Pulsbewegungen; noch andere erfolgen nur gelegentlich, auf Grund von Reizungen oder in Folge gewisser mechanischer Einflüsse u. s. w. Die Beobachtung des

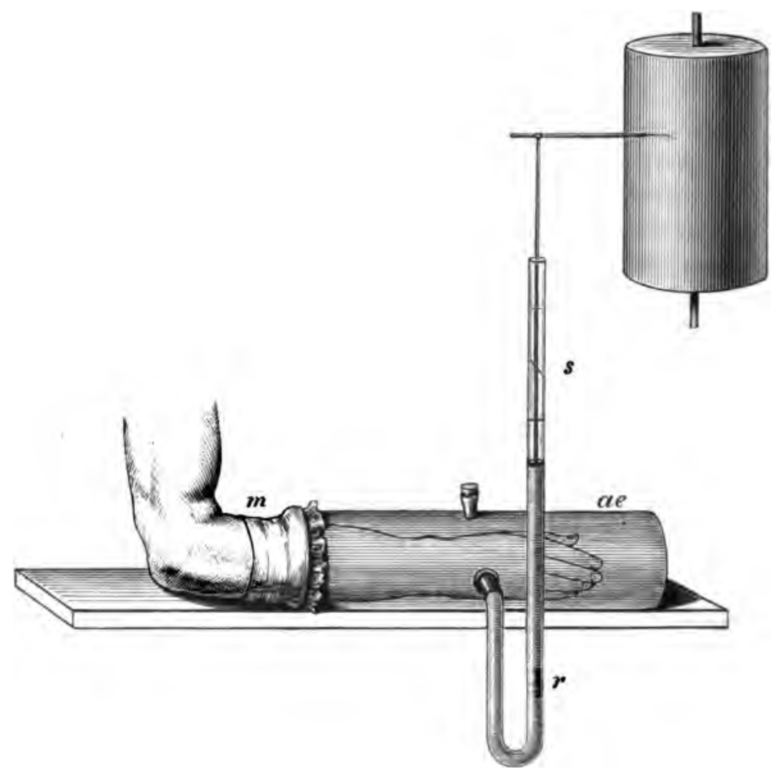


Fig. 197.
Fick's Volumzeichner. ($^1/_6$ nat. Gr.)

Organvolumens gibt über jede activ oder passiv geschehende Veränderung im Blutgehalt der Gefässe deutliche Auskunft.

Die Aufschreibung dieser periodischen und nicht periodischen Volumveränderungen geschieht fast durchweg nach einem einfachen Princip. Denkt man sich das zu untersuchende Organ ohne Störung seiner Circulation in eine im Uebrigen mit Wasser gefüllte Kapsel eingeschlossen, so werden in einem mit dieser communicirenden Gefäss, z. B. einem an sie angesetzten Wasserstandsrohr die Volumveränderungen

sich als Niveauschwankungen bemerklich machen, indem eine jede Volumvermehrung des Organs Wasser verdrängt und den Flüssigkeitsspiegel im Wasserstandsrohr erhöht, jede Volumabnahme ihn erniedrigt. Diese Höhenänderungen kann man auf einen Schreibapparat übertragen und so zur graphischen Darstellung bringen. Ohne die zuletzt genannte Vervollständigung ist die Methode jedenfalls schon vor langer Zeit geübt worden. Wenigstens hat sich schon zu gewissen Zwecken Swammerdam einer ähnlichen Beobachtungsweise bedient. Nachdem dann Piégu und besonders Chelius auf dieselbe Art die pulsatorischen Volumschwankungen menschlicher Extremitäten beobachtet hatten, schuf Fick selbständig einen nach demselben Princip eingerichteten registrirenden Apparat. Zu grösserer Vollkommenheit hat dann A. Mosso diese Registrirmethode ausgebildet. Von ihm rührt auch der Name Plethysmographie her, mit welchem man gegenwärtig die Volumschreibung gewöhnlich bezeichnet.

So gut wie Arme und Beine oder einzelne Abschnitte dieser Extremitäten können auch andere Organe, z. B. Zunge oder Penis, plethysmographisch untersucht werden. Ja sogar gewisse innere Organe, wie Milz und Niere sind, wie zuerst Roy gezeigt hat, einer ähnlichen Beobachtungsweise zugänglich. Über die Volumschreibung beim Herzen ist schon in einem früheren Abschnitt (II. Cap. I und II) berichtet worden.

I. Plethysmographische Untersuchung der Extremitäten.

Fick's Volumzeichner

(Fig. 197) besteht aus einem cylindrischen blechernen Aermel (*ae*), der drei Oeffnungen besitzt: eine zur Einfügung des Vorderarmes, eine andere zum Einsatz des Manometerrohres, eine dritte, die zur Einfüllung von Wasser dient.

Um die Armöffnung wird eine Kautschukmanschette *m* derartig befestigt, das sie den eingeführten Vorderarm vollständig umschliesst, ohne seinen Blutlauf zu stören. Das Wasserstandsrohr *r* biegt erst tief nach unten ab, dann geht es nach oben. Wird nach der Einführung des Armes der Blechcylinder von der obersten Oeffnung aus unter Verdrängung der in ihm enthaltenen Luft mit lauem Wasser gefüllt, so steigt dasselbe in *r* entsprechend in die Höhe. Wenn man dann die Zuflussöffnung durch einen Stöpsel verstopft, zeigt das Wasser in der Röhre jede Pulswelle durch eine deutliche Bewegung an.

Auf dem Wasser flottirt ein leichter aus einem Korkplättchen und darauf befestigtem Schilfhalm verfertigter Schwimmer *s*, der vor

seitlichen Schwankungen dadurch bewahrt bleibt, dass an ihn in gewissen Abständen abwechselnd frontal und sagittal gerichtete Stahlnadelstückchen quer angekittet sind. Die Schreibspitze des Schwimmers schreibt auf den bewegten Kymographion-Cylinder.

Der Apparat von Fick ist noch heute völlig brauchbar. Die mit seiner Hilfe erhaltenen Aufzeichnungen, zu deren Gewinnung an Stelle des schreibenden Schwimmers auch das Luftübertragungs-Verfahren benutzt werden kann, unterscheiden sich auf den ersten Blick nur wenig von denjenigen, die man vermittelst sphygmographischer Vorrichtungen erhält (s. Fig. 198).

Doch hat v. Kries mit Recht hervorgehoben, dass man a priori eine volle Identität beider nur dann anzunehmen berechtigt sein würde, wenn die systolische Pulswelle sich gleichzeitig und mit derselben Stärke in allen Theilen des Armes geltend machen würde. Da dies aber wegen der Fortleitungsdauer und des Decrementes der Pulswelle sicher nicht der Fall ist, so unterscheidet man am besten mit v. Kries von den vom Sphygmographen gelieferten Druckpulscurven die Aufzeichnungen der Fick'schen und ähnlicher Vorrichtungen als Volumpulse.

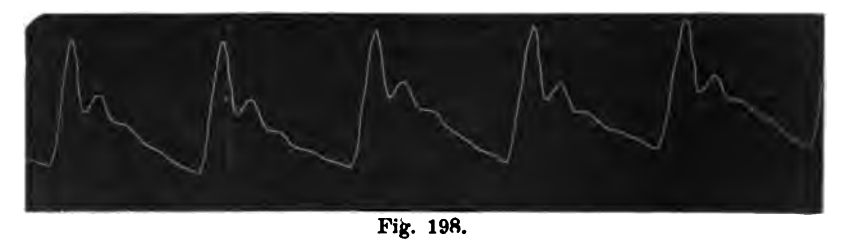


Fig. 198.
Volumpulse des Vorderarmes. Von v. Wittich mittelst des Fick'schen Blechärmels gezeichnet.

Eine nähere Vergleichung beider kann natürlich unter Umständen von hohem Interesse sein. Eine besondere Bedeutung erhalten die Volumpulse dadurch, dass man durch ihre nähere Untersuchung Aufschlüsse über die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes gewinnen kann. (s. diesen Abschnitt, Drittes Capitel).

Dem Volumschreiber von Fick kann der Vorwurf gemacht werden, dass die den Arm einschliessende Wassermasse, falls sie in Folge einer Volumvermehrung in der Röhre steigt, einen schädlichen Druck ausüben, die Circulation stören kann. Nach Mosso reicht schon eine Erhebung des freien Wasserspiegels um 20 *cm* über die Nullhöhe aus, um die Aufzeichnungen zu fälschen. Man ist deshalb mehrfach bestrebt gewesen, diesem Fehler abzuhelfen. Sehr glücklich hat ihn Mosso beseitigt in dem von ihm als Plethysmograph be-

zeichneten Apparat, der weiter unten in seiner Anwendung auf künstlich durchströmte überlebende Organe geschildert werden soll. Wird er zur Aufschreibung des Armvolumens benutzt, so schliesst man die Extremität ähnlich, wie bei der Vorrichtung von Fick ein. Der Schreibapparat ist aber, wie später gezeigt werden wird, ein ganz anderer.

Mosso's Plethysmograph ist vortrefflich geeignet, langsamer ablaufende, bedeutende Volumveränderungen, wie sie beispielsweise unter dem Einfluss gewisser psychischer Erregungen eintreten, anzuzeigen; er gibt aber über die pulsatorischen Volumschwankungen keine Auskunft.

Eine Vorrichtung, die vorzugsweise dieses leistet, ist desselben Autors Hydrosphygmograph.

Der Hydrosphygmograph von Mosso

besteht aus einem mit einer Kautschukmanschette versehenen gläsernen Cylinder, in den der Vorderarm eingeführt wird, und den man dann mit Wasser anfüllt. Der Cylinder ist zweckmässiger Weise an der Zimmerdecke aufgehängt, so dass unwillkürliche Bewegungen des Armes keine schädliche Erschütterung des Wassers hervorbringen können. Eine obere Tubulatur des Gefässes steht in Verbindung mit einer Marey'schen Zeichenkapsel, auf welche sich also die Volumveränderungen übertragen. Zur Erhaltung constanten Wasserdruckes dient eine weite Flasche, die mit dem Glasärmel communicirt, und die bis zur Höhe des oberen Tubulus des Aermels mit Wasser gefüllt ist.

Aehnlich schreibt François-Franck die Volumpulse auf. Sein für die Aufnahme der Hand bestimmtes Gefäss enthält im Innern einen hölzernen Handgriff, welcher den fest um ihn gelegten Fingern zur Stütze dient.[1]) Der Tubulus des Gefässes erweitert sich erst kugelförmig und führt dann zur Marey'schen Kapsel. Steigt das Handvolum, so sind die damit verbundenen Höhenänderungen des in der Kugel befindlichen Wassers zu gering, um schädliche Druckwirkungen entfalten zu können; sie wirken aber prompt auf die Schreibkapsel.

Eine Vorrichtung endlich, die den meisten Ansprüchen Genüge thun dürfte, ist

Kronecker's Plethysmograph.

Auch bei ihm (Fig. 199) ist der Mosso'sche Glasärmel, den ein von der Zimmerdecke herabhängendes Brett trägt, beibehalten (*ae*). Die Kautschukmanschette *m* ist doppelwandig; in den zwischen ihren Wänden befindlichen Luftraum führt ein verschliessbares Kautschuk-

---

[1]) Ein solcher Handgriff leistet sehr gute Dienste. Auch Marey hat in dem von ihm verwendeten Phethysmographencylinder einen solchen angebracht.

röhrchen, von dem aus man ihn aufblasen kann. Man erreicht dadurch einen vollkommen wasserdichten Anschluss der Manschette um den eingeführten Arm, ohne dabei den Blutlauf zu stören. Ein Thermometer (*t*) dient zur Bestimmung der Wassertemperatur. Der mit dem Glasgefäss verbundene Schreibapparat besteht aus einem gläsernen Kästchen *k*, auf dessen Wasserspiegel eine quadratisch zugeschnittene, mit Paraffin durchtränkte Korkplatte schwimmt. Sie trägt an ihrer oberen Fläche ein kleines Hartgummiprisma, über dessen

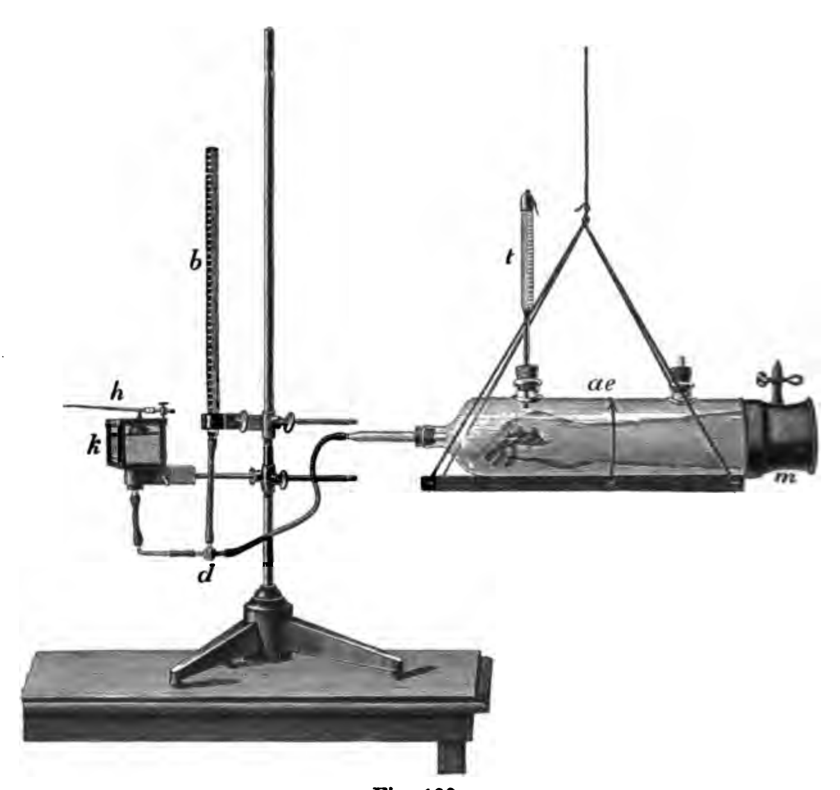


Fig. 199.
Plethysmograph nach Kronecker. (1/8 nat. Gr.)

Schneide der verstellbare Schreibhebel *h* spielt. Die durch die Volumschwankungen des Armes hervorgebrachten Niveauänderungen im Kästchen werden, da sie wegen der Dimensionen desselben kaum erheblich sind, einen schädlichen Einfluss auf die Circulation des Armes nicht ausüben; sie werden sich aber auf den Schreibhebel übertragen und durch ihn sich beliebig vergrössert darstellen lassen.

Ihrem Volumwerthe nach werden die Hebelausschläge mit Hilfe der Bürette *b* graduirt. Diese ist mit dem Glasgefässe und dem Schreibkästchen durch einen *T*-Hahn verbunden. Zur Graduirung stellt man ihn so, dass er nur die Bürette mit der Schreibvorrichtung verbindet, und lässt aus der ersteren cubikcentimeterweise Wasser in diese einlaufen. Indem man die entsprechenden Hebelausschläge auf der berussten Trommel verzeichnet, gewinnt man die Graduations-Scala.

Ist sie aufgezeichnet, so dreht man den Hahn derartig um, dass die Verbindung von Glasärmel und Schreibkasten hergestellt ist, während zugleich die Bürette abgesperrt wird.

Die erwähnten plethysmographischen Methoden sind mancher Variationen fähig. Eine der empfehlenswerthesten ist der Ersatz der bei einigen verwendeten Marey'schen Schreibkapsel durch den Pistonrecorder, der geeigneter ist, langsame Volumveränderungen anzuzeigen und der vor allen Dingen diesen Veränderungen proportionale Ausschläge gibt.

Man kann ferner den Glasärmel mit Luft anstatt mit Wasser füllen. Fügt man einen Finger in eine entsprechend grosse Glasröhre luftdicht ein und verbindet man die Lichtung der Röhre mit einer empfindlichen Schreibkapsel u. dgl., so sieht man deutliche, dem Puls entsprechende Ausschläge.

v. Kries verband das Gefäss, in welches er den Vorderarm eingeführt hatte mit einer empfindlichen Flamme, deren pulsatorische Schwankungen er photographirte. (Vgl. Allg. Theil, Abschn. IV Cap. II). Doch werden bei der von ihm geübten Art des Verfahrens nicht Volumpulse (Plethysmogramme) aufgezeichnet, sondern Strompulse (Tachogramme). Auf ihre Bedeutung wollen wir später zurückkommen.

Wie für den Arm und seine Theile sind die erwähnten plethysmographischen Methoden natürlich auch für die untere Extremität verwendbar. Hier wird man ein stiefelförmiges Gefäss zur Aufnahme des betreffenden Körpertheiles einrichten.

Auch an Thieren kann man Untersuchungen ähnlicher Art mit ähnlichen Hilfsmitteln anstellen. Selbst der Hinterschenkel eines Frosches kann, mit empfindlichen Vorrichtungen in Verbindung gebracht, brauchbare Aufzeichnungen liefern.

Es leuchtet ein, dass man in diesen plethysmographischen Methoden ein werthvolles Mittel besitzt, über die vasomotorischen Innervationszustände in gewissen Gefässgebieten ins Klare zu kommen. Bei Thieren, z. B. beim curarisirten Hunde, lässt sich der Einfluss

von Reizungen und von Nervendurchschneidungen auf die Weite der Blutgefässe auf diesem Wege ebenso gut, vielleicht besser entscheiden, als durch thermometrische oder manometrische Untersuchung.

II. Aufzeichnung des Volumens innerer Organe.

Bei Thieren sind ausser den Extremitäten auch noch mehrere innere Organe dem plethysmographischen Studium zugänglich. Vom Gehirn sei hier abgesehen. Allerdings scheint es, als ob gerade dieses Organ, in eine unnachgiebige Kapsel fast wie in einen Plethysmographen-Cylinder eng eingeschlossen, wie geschaffen zur Untersuchung seiner Volumveränderungen sein müsste. Indess zeigt die nähere Ueberlegung, dass hier doch sehr complicirte Verhältnisse vorhanden sind, dass vor allem die Anwesenheit der den schwankenden Einflüssen der Secretion und der Resorption unterworfenen Cerebrospinalflüssigkeit einer einfachen Beurtheilung der Volumänderungen hinderlich ist. Die bekannten Gehirnpulsationen sind gewiss zum Theil auf die pulsatorischen Volumveränderungen des Organs zurückzuführen; zum anderen Theil stammen sie aber sicher von fortgeleiteten Druckpulsen der basalen Hirngefässe her.

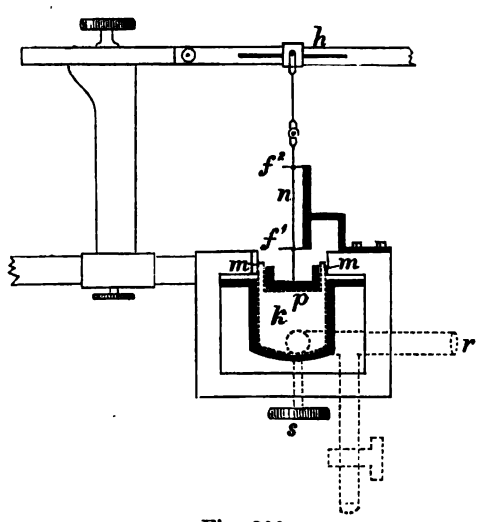


Fig. 200.
Roy's Onkograph. (1/2 nat. Gr.).

Wie man tief im Innern des Körpers gelegene Organe, wie man Milz und Niere dem plethysmographischen Studium zugänglich machen könne, hat Roy bei seinen mit grossem Geschick ausgeführten Untersuchungen gezeigt.

Der Onkograph von Roy.

Roy umgibt das Organ, ohne es aus seinem Zusammenhang mit dem Körper zu lösen, mit einer schmiegsamen, aus einer sehr feinen Membran (Kalbsperitoneum) bereiteten Hülle und schliesst es sammt

dieser bis auf den die zuführenden und abführenden Gefässe enthaltenden Hilus in eine feste Kapsel ein. Der Raum zwischen Membran und Kapselwand wird mit Oel gefüllt. Er steht mit einem Schreibapparat in Verbindung, welchen Roy als Onkograph bezeichnet. Fig. 200 stellt dieses Instrument nach einer von seinem Erfinder gegebenen Skizze dar. Das Wesentlichste ist hier die mit Oel gefüllte Kammer *k* welche mit der das Organ umschliessenden Kapsel durch das Rohr *r* in Verbindung ist. Volumschwankungen in dieser müssen Niveauveränderungen der in der Kammer befindlichen Flüssigkeit hervorbringen. Diese werden auf eine Art von Spritzenstempel (piston) *p* übertragen, der aber nicht direct auf dem Oel ruht, sondern von ihm durch eine die Kammer auskleidende ebenfalls aus Kalbsperitoneum hergestellte Membran *m* getrennt ist. Der Stempel trägt eine Nadel *n*, die durch zwei Führungen f^1 und f^2 geht und oben in einen leichten um eine Axe drehbaren Hebel *h* eingelenkt ist. Die Schreibspitze des Hebels schreibt bei dieser Einrichtung die Volumveränderungen des untersuchten Eingeweides unter beliebiger Vergrösserung auf.

III. Plethysmographie an isolirten Organen.

Sehr werthvolle Ergebnisse hat die plethysmographische Methode beim Studium der Volumveränderungen aus dem Körper entfernter und künstlich mit Ernährungsflüssigkeit durchströmter Organe geliefert. Besonders sind hier die schönen Untersuchungen von A. Mosso zu nennen, die derselbe mit Hilfe seines Plethysmographen ausgeführt hat.

Der Plethysmograph von Mosso.

Die ausgeschnittene Niere u. dgl. wird künstlich unter gleichbleibendem Druck mit Blut gespeist; in ein passendes Gefäss eingeschlossen, überträgt sie ihr durch die Zunahme oder Abnahme der Stromgeschwindigkeit bedingtes An- und Abschwellen auf einen eigenartigen Schreibapparat (Fig. 201).

Von dem mit Oel gefüllten, das durchströmte Organ enthaltenden Recipienten *r* führt ein mehrfach gebogenes Glasrohr in ein Probirglas *p*, das, über eine Doppelrolle gehängt, durch ein Gegengewicht *g* äquilibrirt wird und in ein mit Oel gefülltes Becherglas *b* taucht.

Dem in *r* befindlichen Organ strömt durch ein Rohr *a* das Arterienblut zu, während das Rohr *v* das venöse abführt. Nimmt das Volumen des Organes zu, so strömt Flüssigkeit in das Probirglas hinein und bringt es zum Sinken; sinkt das Organvolum, so muss das

Gläschen steigen. Diese Bewegungen werden durch eine mit dem Gegengewichte *g* verbundene Schreibfeder *s* auf einer bewegten Fläche verzeichnet. Die Einrichtung dieses Apparates bewirkt, wie leicht ersichtlich, dass das eingeschlossene Organ bei allen seinen Volumveränderungen stets den gleichen äusseren Druck wird auszuhalten haben, so dass also durch die Methode unerwünschte Circulationsstörungen nicht eingeführt werden. Ein ganz ähnliches Verfahren hat Mosso, wie schon oben erwähnt wurde, auch für die Aufzeichnung der Schwankungen des Armvolumens beim Menschen mit Erfolg benutzt.

Dass mit Hilfe solcher Vorrichtungen auch die mit den verschiedenen Phasen seiner Thätigkeit einhergehenden Volumveränderungen



Fig. 201.
Plethysmographische Vorrichtung von Mosso.

des ausgeschnittenen, künstlich mit Blut gespeisten Herzens kaltblütiger Thiere aufgezeichnet werden können, wurde in einem früheren Abschnitt gezeigt.

In ähnlicher Weise wären vorkommenden Falles andere Hohlorgane zu behandeln, bei denen active Volumänderungen vorkommen.

Drittes Capitel.

Registrirung der Stromgeschwindigkeit.

I. Aufschreibung des Stromvolumens.

Kommt es nur darauf an, die Blutmenge zu bestimmen, welche durch einen gegebenen Gefässquerschnitt in gewissen grösseren Zeiträumen hindurchströmt, und hat man grössere Blutverluste nicht zu scheuen, so kann man sich eines Registrir-Verfahrens bedienen, welches im Ludwig'schen Laboratorium ausgebildet worden ist.

Dasselbe besteht darin, dass man das aus dem angeschnittenen Gefäss ausströmende Blut — wir wollen annehmen, es handle sich um das aus einer Vene langsam abfliessende Blut — in den einen Schenkel eines U-förmig umgebogenen Rohres eintreten lässt, während man den anderen Schenkel der Röhre mit einem Schwimmer versieht, der die wachsende Niveauhöhe auf dem berussten Papier anschreibt.

Es ist zweckmässig, den das Blut zunächst aufnehmenden Röhrenschenkel recht weit zu machen; der andere kann eng sein.

Man lässt ferner am besten das ausfliessende Blut nicht direct in das registrirende Gefäss einfliessen, sondern leitet es in eine mit gerinnungshemmender Sodalösung oder Bittersalzlösung gefüllte Flasche, aus der es in demselben Maasse, in welchem es einströmt, Flüssigkeit verdrängt. Diese verdrängte Flüssigkeit tritt dann in das U-Rohr ein und hebt dessen Niveau um Grössen, die der ausgeflossenen Blutmenge entsprechen.

Die mit Hilfe solcher Vorrichtungen gezeichnete Curve zeigt jede ausgeflossene Menge Blut durch eine mehr oder minder steile Erhebung, jeden Stillstand des Ausflusses durch eine horizontale Linie an. Der Volumwerth der Ordinaten der Curve ist nach vorgängiger Calibrirung des Rohres leicht zu ermitteln.[1])

Ueber die feineren Veränderungen, welche der Blutstrom innerhalb kurzer Zeiträume erfährt, also z. B. über etwaige, von der Herzthätigkeit oder der Athmung abhängige Schwankungen der Stromstärke, würde die

---

[1]) Es ist klar, dass für die Registrirung der arteriellen Blutströmung dieses Verfahren nicht ohne Weiteres brauchbar sein kann, da der grosse Blutverlust dem Versuchsthier schnell verderblich werden müsste. Will man die aus einer Arterie strömenden Blutvolumina registriren, so muss man dafür Sorge tragen, dass das ausgeflossene Blut wieder in den Kreislauf zurückgelangt. Auch hierfür hat Ludwig Methoden ersonnen, die das Gewünschte in sehr präciser Weise leisten.

geschilderte Methode natürlich keine Auskunft geben. Will man diese kennen lernen, so muss man sich eines der in den folgenden Paragraphen beschriebenen Verfahren bedienen.

II. Benutzung des Strompendelprincips.

Schon Vierordt hatte den Versuch gemacht, graphische Aufzeichnungen der Blutstromgeschwindigkeit zu gewinnen. Er benutzte dazu sein Haemotachometer, musste aber darauf verzichten, die Anzeigen desselben sich automatisch registriren zu lassen. Vielmehr ahmte er mit der Hand die Bewegungen des Strompendels nach und verzeichnete diese Handbewegungen mit Hilfe eines recht schwerfälligen Apparates.

Chauveau's Haemodromograph.

Die ersten durch Selbstregistrirung gewonnenen Tachogramme sind von Lortet mitgetheilt worden. Er bediente sich eines von Chauveau erfundenen Instrumentes. Das Hémodromomètre dieses Forschers ist bekanntlich ebenso wie das Vierordt'sche Instrument nach dem Princip des Strompendels construirt. Eine in ein durchschnittenes Blutgefäss einzufügende Röhre besitzt eine Fensteröffnung, welche durch eine Gummimembran verschlossen ist. In dieser Membran steckt eine lange, leichte Nadel, deren unteres etwas verbreitertes Ende tief in die Lichtung der Röhre hineinreicht. Der

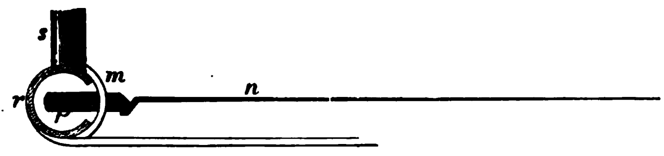


Fig. 202.
Der Haemodromograph von Chauveau und Lortet. (1/3 nat. Gr.)

Blutstrom, der auf dieses Endplättchen wirkt, lenkt es seiner Geschwindigkeit entsprechend ab; das obere Ende der Nadel gibt diese Ablenkungen vergrössert wieder. Eine Kreistheilung, vor der die Nadelspitze spielt, erlaubt die Ablesung der Ablenkungsgrössen.

Versieht man nun das obere Nadelende mit einer Schreibspitze, und lässt man diese ihre Ausschläge auf ein vorbeibewegtes Papier aufzeichnen, so ist aus dem Hämodromometer ein registrirender Apparat gemacht, den Chauveau als Hämodromograph bezeichnet hat.

Fig. 202 stellt diese Vorrichtung nach einer von Lortet gegebenen Durchschnittszeichnung dar. *r* ist der Querschnitt einer me-

tallenen Röhre, deren eines Ende in den centralen, deren anderes in den peripherischen Stumpf eines durchschnittenen Blutgefässes eingefügt wird. Das in der Figur sichtbare Fenster ist durch die Gummimembran *m* verschlossen; diese wird von der Aluminiumnadel *n* durchbohrt, deren unteres Ende sich zu dem Plättchen *p* verbreitert. Das obere Ende der Nadel ist zu einer Schreibspitze umgestaltet. *s* ist ein Seitenrohr, welches zu einer puls- und druckverzeichnenden Vorrichtung (Sphygmoskop) führt.

Man kann auch, wie das Chauveau weiterhin gethan hat, die Bewegungen der Nadel anstatt direct, durch Vermittelung zweier Marey'scher Luftkapseln verzeichnen lassen.

Die Nadel setzt man dann, wie in Fig. 203, mit einer Aufnahmekapsel *k* in Verbindung, die in bekannter Weise mit der Schreibvorrichtung verbunden ist. Das in die Arterie einzuführende Rohr macht man *T*-förmig; das obere Ende des unpaaren, unten möglichst engen Röhrenschenkels schliesst man durch eine elastische Membran (*m*).

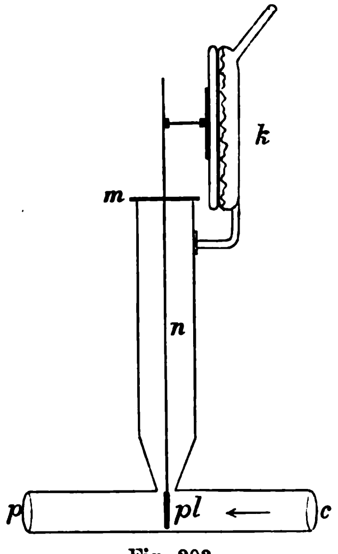


Fig. 203.
Haemodromograph mit Luftübertragung.

Es ist leicht begreiflich, dass das Verfahren von Chauveau nur bei grossen Thieren, Pferden oder Eseln, anwendbar ist.[1]) Auch die von Lortet mitgetheilten Curven, von denen die beistehende Figur 204 ein Beispiel geben möge, stammen von solchen.



Fig. 204.
Geschwindigkeitscurve von der Carotis dextra eines Pferdes (nach Lortet).

Jede solche Aufzeichnung lässt deutlich die systolische Beschleunigung des Blutstromes erkennen. Auch zeigen sich in der Regel dikrote Wellen, sowie noch andere Eigenthümlichkeiten, die denen der Pulscurve ähnlich sind.

[1]) Für kleinere Thiere, z. B. Hunde, hat Franck kürzlich ein dem Chauveau'schen ähnliches Verfahren angewendet. Die Dromographennadel wird hier direct in das Blutgefäss eingeführt.

Man vergleiche hier auch die Fig. 90 S. 116 mitgetheilten Geschwindigkeitscurven, aus denen die bemerkenswerthe Thatsache hervorgeht, dass die Geschwindigkeit des Blutstromes in der diastolischen Zeit sogar unter die Nulllinie sinken, also negativ werden, die Strömung des Blutes für eine gewisse Zeit rückläufig werden kann. Indessen scheint ein solches Verhalten durchaus nicht die Regel zu sein.

Die Abscissenzeichnung geschieht bei Anwendung des Haemodromographen so, dass man durch Zuklemmung des Blutgefässes unterhalb des Instrumentes die Stromgeschwindigkeit auf Null bringt. Der Werth der Ausschläge der Schreibspitze muss durch empirische Graduation mittelst Durchleitung von Strömen bekannter Geschwindigkeit ermittelt werden.

III. Verwendung Pitot'scher Röhren.

Es lag nahe, auch das Princip der Pitot'schen Röhre zur graphischen Darstellung der Stromgeschwindigkeit zu benutzen.

Schaltet man in einen Flüssigkeitsstrom zwei senkrechte, unten knieförmig abgebogene Röhren hintereinander so ein, dass die eine ihre Mündung gegen die Strömung kehrt, während die Mündung der anderen entgegengesetzt gerichtet ist, so steigt die Flüssigkeit in der ersten der beiden Röhren höher, als in der zweiten, und die Differenz der beiden Höhen ist eine Function der Stromgeschwindigkeit.

Marey gelang es, an schematischen Vorrichtungen, in denen Wasser strömte, die Schwankungen der Druckdifferenz graphisch zu registriren; doch versagte die Vorrichtung am lebenden Thier.

Cybulski dagegen, welcher die Idee hatte, den Stand der beiden Manometer auf photographischem Wege darzustellen, hat Aufzeichnungen mitgetheilt, aus denen sich die Geschwindigkeitscurve des strömenden Blutes ohne Schwierigkeit ableiten lässt.

IV. Bestimmung der Stromgeschwindigkeit auf plethysmographischem Wege.

Ein ganz anderes Princip liegt den Methoden zu Grunde, die Fick und nach ihm v. Kries zur graphischen Darstellung der Stromgeschwindigkeit des Blutes ausgearbeitet haben.

Fick gelangt zur Darstellung der „Stromcurven“ auf indirectem Wege. Er leitet sie durch Differenzirung aus der mittelst des Plethysmographen gewonnenen Volumcurve ab. Mit Zuhilfenahme der letzteren nämlich construirt Fick eine Curve, deren Ordinaten die Steilheit ausdrücken, mit welcher in den ein-

zelnen Zeitpunkten die Volumcurve steigt oder sinkt. Diese Steilheit ist das Maass für die positive oder negative Strömungsgeschwindigkeit, die in den einzelnen Zeitmomenten an der Eintrittsstelle der zuführenden Blutgefässe in den Plethysmographen besteht, wenn dabei die (im Allgemeinen wohl zutreffende) Voraussetzung gemacht wird, dass die Stromstärke in den das Blut aus der untersuchten Extremität abführenden Venen eine beständige sei.

Zur Bestimmung der Ordinaten der abgeleiteten Curve zieht Fick an eine Anzahl von Punkten der Volumcurve die Berührungslinien, und misst die trigonometrischen Tangenten der Winkel, welche diese Linien mit der Abscissenaxe bilden. Diese Tangenten (also die ersten Differentialquotienten der gegebenen Function) sind die verlangten Ordinaten, und die Stromcurve (das Tachogramm) erhält man, wenn man sie über einer Abscissenaxe aufträgt und ihre Endpunkte mit ein-

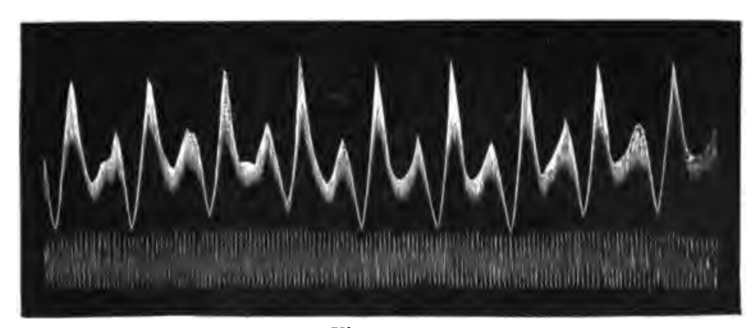


Fig. 205.
Strompulscurven (nach v. Kries).
(Die Curve ist von rechts nach links zu lesen.)

ander verbindet. Zur Erleichterung der Messung hat Fick eine kleine Vorrichtung construirt, vermittelst deren man für jeden Punkt der Volumcurve schnell den Werth des gesuchten Differentialquotienten ermitteln kann.

Das Verfahren von v. Kries ist ein directes. Er schliesst den (am besten senkrecht herabhängenden) Arm oder auch das Bein in einen möglichst engen mit Luft gefüllten Plethysmographencylinder ein. Dieser steht mit einem Brenner in Verbindung, der von einem constanten Gaszufluss gewährenden Leuchtgasreservoir gespeist wird. Durch die periodischen Volumveränderungen des Gliedes wird die im Cylinder enthaltene Luft in Bewegung gesetzt; sie wird abwechselnd ausgetrieben und eingesogen. Die Flamme des Gasbrenners geräth natürlich in entsprechende Bewegungen; je nach der Art des Antriebes muss sie sich strecken oder verkleinern. Ist

die Brenneröffnung hinreichend weit, so geben die Schwankungen der Flamme direct an, mit welcher Stärke der Luftstrom auf sie wirkt. Diese Stärke aber entspricht der Geschwindigkeit, mit welcher das Volumen des Armes sich ändert, also den Veränderungen, welche die Stromgeschwindigkeit des Blutes unter dem Einfluss des Pulses erfährt. v. Kries hat die Bewegungen der hüpfenden Flamme objectiv dargestellt, indem er sie, unter Einschaltung einer bildentwerfenden Linse, auf eine vorbeibewegte lichtempfindliche Papierfläche photographirte. Von den auf diese Weise gewonnenen Aufzeichnungen gebe Fig. 206 eine Probe.

Seinen Apparat, an welchem sich auch Vorrichtungen zur photographischen Zeitregistrirung befinden, hat v. Kries als Flammen-Tachograph bezeichnet.

Fünfter Abschnitt.

Aufzeichnung der Athembewegungen.

Die Registrirung der Athembewegungen soll dazu dienen, über Frequenz und Tiefe derselben, über die Dauer der einzelnen Respirationsphasen, über das etwaige Vorhandensein von Athempausen oder von Athmungsstillständen anderer Art Auskunft zu geben. Ausserdem kann an sie auch die Forderung gestellt werden, dass sie eine Vorstellung von der Stärke des jeweiligen respiratorischen Tonus gebe und dass sie die Messung der in gewissen Zeiträumen hin- und hergeathmeten Luftvolumina ermögliche; oder man kann, die Betheiligung bestimmter Athmungsmuskeln ins Auge fassend, die isolirte Darstellung ihrer Thätigkeit verlangen.

In vielen Fällen wird man sich damit begnügen können, die Bewegungen des Brustkorbes aufzuzeichnen; in anderen wird man vorziehen, die durch die In- und Exspiration veranlasste Luftbewegung oder Druckschwankung in den Athmungswegen oder im Pleuraraum darzustellen. Zu besonderen Zwecken wird man sich genöthigt sehen, zur Athemvolumschreibung oder zur myographischen Untersuchung einzelner Athemmuskeln zu greifen.

Erstes Capitel.

Registrirung der respiratorischen Thoraxbewegungen.

I. Querschnittsveränderungen der Thorax.

Da der Brustkorb bei der Einathmung seinen Querschnitt vergrössert, bei der Ausathmung ihn wieder verringert, kann man daran denken, die Querschnittsveränderungen zum Gegenstand der graphischen Darstellung zu machen. Die für diesen Zweck benutzten Methoden bedienen sich des Princips der Luftübertragung; die Aufzeichnung geschieht also vermittelst einer Marey'schen Schreibkapsel, die ihre Impulse von einer Aufnahmevorrichtung empfängt, auf welche die erwähnten Veränderungen des Thorax einwirken.

Marey verwandte früher zu diesem Zwecke einen kleinen Hohlcylinder, dessen Mantel aus einer Kautschukröhre bestand und dessen Basalflächen aus Metall waren. Eine starke im Innern des Cylinders angebrachte Spiralfeder diente der elastischen Hülle zur Stütze. Ein Ausgangsrohr war durch einen Gummischlauch mit der Schreibkapsel in Verbindung. Wird ein solcher Cylinder vermittelst eines Bandes um die Brust befestigt, so müssen die Querschnittsveränderungen des Thorax so auf ihn wirken, dass er bei der Einathmung gestreckt wird, bei der Ausathmung sich verkürzt, sein Hohlraum sich also abwechselnd vergrössert und verkleinert. Der Schreibhebel der Zeichenkapsel wird dementsprechend bei der Inspiration nach unten, bei der Exspiration nach oben ausschlagen.

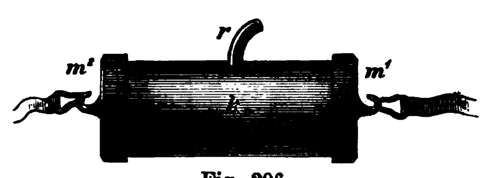


Fig. 206.
Älterer Pneumograph von Marey, Modification von Bert. (²/₃ nat. Gr.)

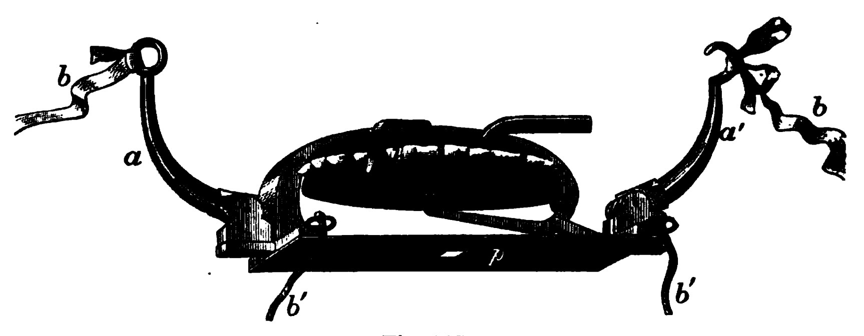


Fig. 207.
Neuer Pneumograph von Marey. (²/₃ nat. Gr.)

Diesen Pneumograph hat P. Bert dahin verändert, dass er den Mantel des Cylinders aus Metall, die Grundflächen aber (*m*, m^1 in Fig. 206) aus Kautschukmembranen herstellte. Die an letzteren angebrachten Häkchen werden durch ein um den Thorax geschlungenes Band mit einander verbunden. Das Abzugsrohr *r* führt zur Schreibkapsel. Die Wirkungsweise ist, wie leicht ersichtlich, dieselbe, wie bei der ursprünglichen Vorrichtung.

Gegenwärtig bedient sich Marey der in Fig. 207 dargestellten Form des Pneumographen.

Die elastische Stahlplatte *p* ist mit zwei in sie eingelenkten Armen *a* und a^1 versehen, und wird vermittelst eines an diesen befestigten

Bandes *b b* um die Brust geschnallt. Unter dem Einfluss der Inspiration müssen die beiden Arme, entgegen dem Widerstand der federnden Platte, auseinandergehen; bei der Ausathmung zwingt sie die Elasticität der Platte in ihre alte Lage zurück. Der eine Arm wirkt dabei durch einige Zwischenstücke auf eine Luftkapsel *k* derartig ein, dass jede Inspiration eine Vergrösserung, jede Exspiration eine Wiederverkleinerung des Kapselraumes zur Folge hat. Eine mit *k* verbundene Schreibkapsel zeichnet daher die Athmung in der Weise auf, dass die Inspiration (*I*) durch ein Sinken, die Exspiration (*E*) durch eine Erhebung der Curve sich darstellt (S. Fig. 208).

Soll der Apparat in Function treten, so hängt man ihn zunächst vermittelst eines Tragbandes b^1 b^1 so um den Hals, dass die Platte in der gewünschten Höhe über dem Brustbein liegt. Dann wird das

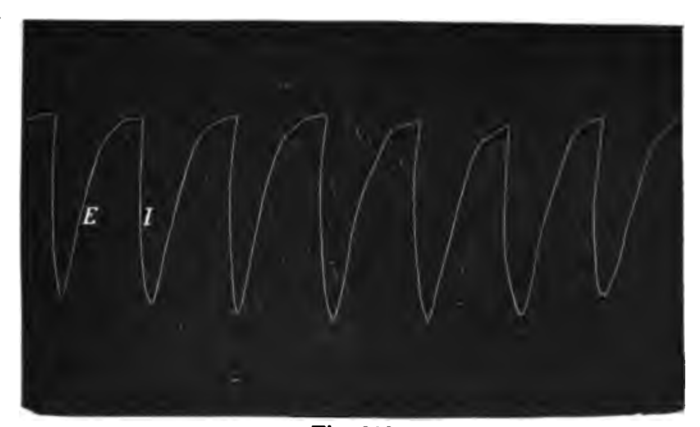


Fig. 208.
Pneumographische Curve vom Menschen.

Band *b b* um Brust und Rücken geschlungen und so fest angezogen, dass bereits kleine Querschnittsveränderungen des Thorax die Kapsel in Thätigkeit setzen. Darauf stellt man die Verbindung mit dem Schreibapparat her. Die von ihm gezeichnete Curve lässt erkennen, dass normaler Weise Ein- und Ausathmung ohne Unterbrechung einander folgen, dass Athempausen also nicht bestehen. Zugleich bemerkt man, dass die Ausathmung eine längere Zeit in Anspruch nimmt, als die Einathmung.

Es lassen sich derartige Aufzeichnungen übrigens auch durch einfachere Hilfsmittel erzielen. Eine durch einen Gurt um den Brustkorb befestigte kardiographische Aufnahmekapsel oder eine ähnliche Vorrichtung wäre zu diesem Zwecke wohl brauchbar.

Nach diesem Princip ist auch der von Brondgeest benutzte Pneumograph construirt. Knoll bedient sich eines flaschenförmigen elastischen Sackes, der in der Oberbauchgegend um den Leib geschnallt und mit einer Schreibkapsel verbunden wird.

Man wird sich bei der Beurtheilung der mit Hilfe der zuletzt erwähnten Vorrichtungen gewonnenen Zeichnungen zu erinnern haben, dass hier, im Gegensatz zu den oben besprochenen Curven, die Einathmung durch eine Aufwärtsbewegung des Schreibhebels, die Ausathmung durch seinen Niedergang bezeichnet wird.

II. Bewegung einzelner Punkte der Thoraxwand.

Um ein Bild der Athemthätigkeit zu gewinnen, kann man sich in vielen Fällen darauf beschränken, die respiratorischen Bewegungen einer einzelnen Stelle der Brust- oder Bauchwand graphisch darzustellen.

Vierordt verwendete dazu zusammen mit G. Ludwig den Fühlhebel seines Sphygmographen, den er auf die Oberbauchgegend aufsetzte. Noch in neuerer Zeit hat Mosso denselben Apparat in gleicher Weise angewendet. Auf der Benutzung von Fühlhebeln beruht auch der Doppelstethograph von Riegel, bei welchem die Aufgabe, vergleichbare Aufzeichnungen der Athembewegungen zweier verschiedener Thoraxstellen zu erhalten, dadurch gelöst ist, dass die beiden Schreibhebel des Apparates auf die beiden Flächen einer und derselben gläsernen, beiderseits mit Russ geschwärzten Schreibplatte zeichnen. Hält man nach geschehener Aufzeichnung die Tafel gegen das Licht, so übersieht man beide Curven mit einem Male und kann sie leicht mit einander vergleichen.

Die Benutzung von directen Fühlhebeln ist nur dann anzurathen, wenn, ähnlich wie beim Marey'schen Sphygmographen, der Registrirapparat mit dem Schreibwerk fest verbunden und am Thorax befestigt ist. Bei dem Riegel'schen Instrument ist das auch der Fall.

Will man dagegen auf die üblichen Registrircylinder zeichnen, so verwendet man besser eine Luftübertragungsvorrichtung. Eine für diesen Zweck zu empfehlende Aufnahmekapsel, die sich auch zur Anwendung bei Thieren eignet, hat Paul Bert angegeben.

Die Kapsel ist hier mit Gelenken auf einem Träger derartig befestigt, dass sie leicht in die gewünschte Lage gebracht und in ihr fixirt werden kann (Fig. 209). Die auf die Membran der Kapsel gekittete Aluminiumplatte trägt ein Stäbchen *st*, welches oben mit einer kleinen Platte *p* abschliesst. Das Stäbchen ist durch eine Oeffnung des Metallbügels *b b* geführt. Zur Unterstützung des jedesmaligen

Zurückganges der bei der Einathmungsbewegung hineingedrückten Pelotte ist der Gummifaden *f* bestimmt. Besser ist es, dies durch Anbringung einer schwachen Sprungfeder im Innern der Kapsel zu bewirken.



Fig. 209. Stethographische Aufnahmekapsel von Bert. (1/3 nat. Gr.)

Die Kapsel wird an eine Stelle der Brust angelegt, sorgfältig so eingestellt, dass jede Ortsbewegung des betreffenden Thoraxpunktes auf die Membran in dem einen oder anderen Sinne einwirkt, und dann mit einer Zeichenkapsel verbunden. Natürlich ist man nicht an die Anwendung einer Kapsel von der erwähnten Construction gebunden. Aehnliches würde jede Kardiographenkapsel leisten, die man in passender Weise neben der Versuchsperson aufstellte.

III. Veränderungen einzelner Brustdurchmesser.

Die Anwendung solcher Vorrichtungen setzt voraus, dass ausser den durch die Athembewegungen bedingten Ortsveränderungen des explorirten Thoraxpunktes andere nicht vorkommen, dass also das zum Gegenstand der Untersuchung gemachte Thier, der untersuchte Mensch während des Versuches eine völlig ruhige Lage einnimmt. Diese Forderung ist natürlich schwer zu erfüllen. Unabhängig von störenden Bewegungen wird man sein, wenn man nicht die absoluten Lageveränderungen einer Thoraxstelle, sondern die relativen Verschiebungen, die zwei diametrale Punkte des Brustkorbes gegen einander erleiden, also die respiratorischen Veränderungen eines einzelnen Brustdurchmessers aufschreibt. Fick und Bert haben unabhängig von einander zwei Vorrichtungen angegeben, die durch sehr ähnliche Hilfsmittel diesen Zweck erreichen.

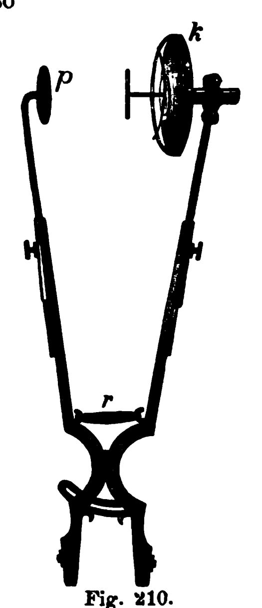


Fig. 210. Zirkelstethograph von Bert. (1/3 nat. Gr.)

In Fig. 210 ist der Apparat von Bert (wir wollen ihn Zirkelstethograph nennen) abgebildet. Die ähnlich wie die in Fig. 209 eingerichtete Luftkapsel *k* ist hier auf dem

einen Arm eines Tasterzirkels befestigt, dessen andere Spitze mit einer Gegenplatte *p* versehen ist. Der Zirkel wird so angelegt, dass er einen beliebigen Thoraxdurchmesser umfasst. Der Kautschukring *r* sichert das Zurückgehen in die Ruhestellung.

Durch die aus der Abbildung ersichtlichen Hilfsmittel ist es möglich, die Länge der Zirkelarme und den Winkel, den sie mit einander bilden, zu variiren.

Man kann diesen Apparat auch bei kleinen Thieren mit Vortheil verwenden.

Bei dem Pneumograph von Fick schliessen die langen Schenkel eines ähnlichen Tasterzirkels ebenfalls einen Brustdurchmesser ein. Durch die Bewegungen der kurzen Arme wird hier aber eine Art von Spritze, das Gegenstück eines „piston recorder," in Thätigkeit gesetzt. Der eine Arm trägt nämlich ein Glasrohr, in welchem ein am andern gelenkig angebrachter Stempel sich luftdicht und mit geringer Reibung bewegt. Der Hohlraum des Rohres ist durch einen Schlauch mit der schreibenden Luftkapsel verbunden.

Hier ist endlich auch das registrirende Stethometer von Burdon Sanderson zu erwähnen, bei welchem sich die Veränderungen des Abstandes zweier Thoraxstellen auf eine Luftkapsel übertragen, die in zweckentsprechender Weise an einem auf der Brust befestigten Rahmen angebracht ist und deren Pelottenknopfe ein am anderen Ende des betreffenden Brustdurchmessers anzubringender Gegenknopf entspricht. Der Rahmen hängt an einem um den Hals gelegten Tragband. Eine Abbildung dieser Vorrichtung gibt das Handbook für the physiological laboratory pl. 94.

Zweites Capitel.

Aufzeichnung der respiratorischen Luftdruckschwankungen.

Die im vorigen Abschnitt erwähnten pneumographischen und stethographischen Methoden sind nicht ausreichend, wenn man eine Vorstellung von der Gesammtathmung erhalten will, da sie im günstigsten Falle nur über die Häufigkeit und Stärke der periodischen Rippenhebung belehren. Bei einem Thier, welches, wie z. B. das Kaninchen, in der Regel ausschliesslich mit dem Zwerchfell athmet, könnte man auf solche Weise keine oder nur sehr unsichere Resultate erlangen. Für den Menschen ist man meistens allein auf dieses

Verfahren angewiesen; bei Thieren aber, an denen es möglich ist, vivisectorische Eingriffe vorzunehmen, steht eine ganze Reihe von anderen Untersuchungsmethoden zu Gebote. Unter ihnen nimmt die Registrirung der mit der Athmung einhergehenden Druckschwankungen, sei es im Pleurasack, sei es in den Luftwegen, die erste Stelle ein.

I. Registrirung der Druckschwankungen in den Luftwegen.

Verbindet man die durchschnittene oder angeschnittene Luftröhre eines Thieres mittelst einer lungenwärts in sie eingeführten Canüle mit einem U-förmigen Quecksilber-Manometer, so sieht man im freien Schenkel desselben die Quecksilbersäule bei jeder Einathmung sinken, bei jeder Ausathmung steigen. Durch einen mit einer Schreibfeder ausgerüsteten Schwimmer könnte man diese Bewegungen aufschreiben. Der Anwendung dieser Vorrichtung stellen sich jedoch zwei Hindernisse in den Weg. Erstens ist das Quecksilber, welches hier plötzlich zu beträchtlichen Höhen emporgeschleudert wird, zu träge, als dass man eine treue Wiedergabe der auf dasselbe wirkenden Antriebe erwarten dürfte. An Stelle des Quecksilber-Manometers würde man sich deshalb besser einer elastischen Vorrichtung, etwa einer Marey'schen Zeichenkapsel von passender Grösse und nicht allzugrosser Empfindlichkeit bedienen, bei deren Anwendung wenigstens die in Bewegung gerathende Masse keine grosse wäre.

Aber auch dann wäre das Verfahren unzulässig, weil bei der Kleinheit des zur Verfügung gestellten Raumes das Thier schon nach wenigen Athemzügen dyspnoisch werden müsste. Diesem Uebelstand lässt sich in manchen Fällen dadurch abhelfen, dass man in die Luftröhre eine Gabelcanüle einbindet, deren einer Schenkel offen bleibt, während der andere mit der Zeichenkapsel verbunden wird. Je enger man den freien Röhrenschenkel macht — man stülpt über ihn ein Stück Schlauch, dessen Lichtung durch eine Schraubenklemme beliebig verengert werden kann —, desto stärkere Ausschläge gibt der Schreibhebel.

Aehnliches lässt sich durch Benutzung eines T-förmigen Rohres erreichen, dessen einen Schenkel man nach der Lunge hin, dessen andern man kehlkopfwärts in die Trachea einbindet, während der dritte mit der Luftkapsel in Verbindung gesetzt wird. Hier athmet das Thier wie unter normalen Bedingungen durch Mund und Nase, und die Schreibkapsel zeichnet die Schwankungen des trachealen Seitendruckes auf.

Natürlich sind Beobachtungsweisen dieser Art nur brauchbar, wenn es sich allein um eine Übersicht über die Athmungsfrequenz

und um gröbere Darstellungen von respiratorischen Tiefenänderungen handelt. Will man den vollen Betrag der respiratorischen Luftbewegung aufschreiben, will man richtige Vorstellungen von der Art und der Dauer eintretender Athmungsstillstände gewinnen, so ist die Benutzung einer endständigen Luftröhrencanüle unerlässlich. Um hier das Thier vor Athemnoth und Erstickung zu bewahren, schaltet man, nach einem gegenwärtig mit Vorliebe angewendeten, ursprünglich, wie es scheint, von Marey, später von Bert und Hering empfohlenen Verfahren, zwischen die Schreibkapsel und die Luftröhre

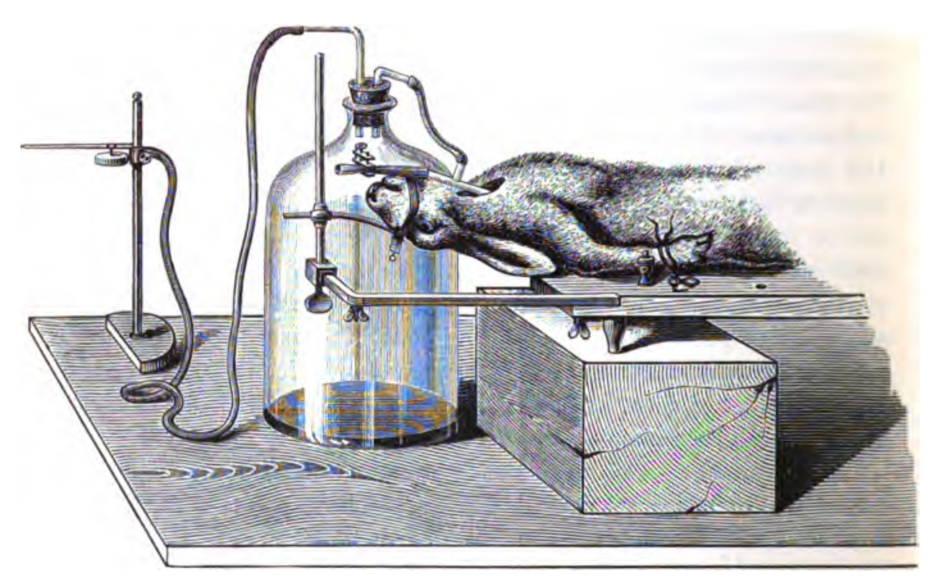


Fig. 211.
Aufzeichnung der Athmung eines Kaninchens vermittelst Schreibkapsel und Luftvorlage.

eine grosse mit Luft gefüllte Vorlage ein. Man verwendet dazu am besten eine 5 bis 10 Liter fassende Flasche, die man mit einem von zwei Glasröhren durchbohrten Pfropfen verschliesst; die eine der rechtwinklig gebogenen Röhren verbindet man mit einer Marey'schen Schreibkapsel, die andere mit der Trachealcanüle. Auf diese Weise erhält man eine Vorrichtung, wie sie in Fig. 211 dargestellt ist, die einer näheren Erläuterung wohl nicht bedarf.

Die Luftröhrencanüle ist, wie in der Abbildung, am besten T-förmig; über den nicht mit der Flasche verbundenen Schenkel derselben zieht man ein Stück Gummirohr und verschliesst dieses während der Dauer des Versuches durch eine Schlauchklemme oder einen Hahn.

Man gibt dieses Nebenrohr frei, so oft die Aufzeichnung unterbrochen werden kann, um nicht unnöthig die in der Flasche enthaltene Luft zu verschlechtern; auch öffnet man dasselbe, um die Nulllinie zu verzeichnen. Bei länger dauernden Versuchen ist es ausserdem nöthig, von Zeit zu Zeit, mindestens alle zehn Minuten, die Flaschenluft zu erneuern. Das bewirkt man am besten dadurch, dass man in die Flasche Wasser füllt und wieder ausgiesst. Geschieht dies nicht allzuselten, und hat man auch dafür Sorge getragen, dass die Verbindungsstücke zwischen Trachea und Flasche so kurz und so weit als irgend möglich sind, so kann man stundenlang ohne Störung experimentiren.

Das Thier wird natürlich um so bessere Luft athmen, je grösser die benutzte Luftvorlage ist. Aber der Vergrösserung derselben sind Grenzen gesteckt, weil begreiflicher Weise mit der Zunahme des Luftvolumens die Athemcurven niedriger werden und feinere Einzelheiten derselben sich verwischen. Man thut gut, bei mittelgrossen Kaninchen nicht über 5 Liter hinauszugehen. Besitzt man eine Flasche von grossem Inhalt, die man jedesmal verwenden möchte, so kann man sie leicht der Grösse des benutzten Thieres anpassen, indem man sie mehr oder weniger hoch mit Wasser füllt und dadurch den Luftraum auf das passende Maass bringt.

Fig. 212.
Kaninchen. Athemcurven, auf die in Fig. 211 dargestellte Art und Weise verzeichnet. Inspiratorischer Stillstand in Folge von elektrischer Reizung des centralen Vagusstumpfes.

Wenn alle Theile des Apparates dicht schliessen, dann verzeichnet die Schreibkapsel nicht nur die Frequenz, den Verlauf und die Tiefe der abwechselnden Athemphasen sehr genau, sondern die Aufzeichnung gibt auch über die vorkommenden inspiratorischen oder exspiratorischen Athmungsstillstände unzweideutige Auskunft (vgl. Fig. 212). Der Schreibhebel geht bei der Einathmung natürlich abwärts und schlägt bei der Ausathmung nach oben aus. Inspiratorische Stillstände verzeichnen sich durch gerade Linien, die unterhalb der Abscissenlinie liegen, während exspiratorische sich durch Ruhelinien markiren, die, je nachdem der Stillstand ein passiver, mit Erschlaffung aller Athemmuskeln einhergehender oder ein activer ist, mit der Abscisse zusammenfallen oder über ihr gelegen sind.

Auch ohne Ausführung der Tracheotomie kann man auf demselben Wege Athmungsaufzeichnungen erhalten. Stülpt man über den Kopf oder besser nur über Nase und Maul des Versuchsthieres eine

aus starkem, aber weichem Kautschuk verfertigte Kappe (Fig. 213), die man durch ein Ausgangsrohr mit der Luftflasche verbindet, so erhält man, nachdem sich das Thier beruhigt hat, recht brauchbare Zeichnungen. Dieses Verfahren eignet sich vorzugsweise für Kaninchen. Man hält sich zu diesem Zwecke eine Anzahl von Kappen von verschiedener Grösse vorräthig.

Bei kurzdauernden Versuchen kann man die Kappe mit der Hand halten. Man kann sie aber auch wie einen Maulkorb am Kopf des Thieres befestigen.



Fig. 213.
Kaninchen mit Athmungskappe.

Eine dazu recht taugliche Einrichtung stellt Fig. 214 (nach Verdin) dar. Die aus Holz oder einem anderen festen Material verfertigte, innen am besten mit Tuch oder Filz ausgefütterte Maske ist hier an einem jener einfachen Kopfhalter angebracht, wie sie neuerdings vielfach in den Laboratorien verwendet werden.[1]) Luftdichten Anschluss kann man durch Einstopfen von Watte in die etwa zwischen Kopf und Kappenrand bleibenden Lücken herbeiführen.

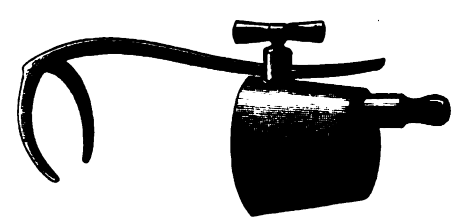


Fig. 214.
Verdin's Athmungskappe mit Kopfhalter.

Das oben geschilderte Verfahren, mittelst endständiger Trachealcanüle und eines daran angeschlossenen Schreibapparates die Athmung zu verzeichnen, ist nicht nur bei Säugethieren verwendbar, sondern es empfiehlt sich auch für Vögel und Reptilien. So kann man auf diesem Wege — natürlich unter Benützung einer entsprechend verkleinerten Luftflasche — sehr gute Aufzeichnungen von den Athembewegungen einer Schildkröte oder Eidechse erhalten (s. Figur 215, in welcher der eigenthümliche, durch eine in zwei Tempi erfolgende Exspiration gekennzeichnete Athemmodus der Eidechse dargestellt ist).

[1]) Das sehr zweckmässig eingerichtete Marburger Kaninchenbrett ist damit ausgestattet.

Bei den Vögeln kann man auf dieselbe Weise ausser den trachealen Luftdruckveränderungen auch diejenigen zur graphischen Darstellung bringen, welche sich in den mit der Lunge verbundenen Luftsäcken geltend machen. Bekanntlich communiciren bei dieser Thierclasse auch die Lufträume der grossen Röhrenknochen mit der Lunge. Eröffnet man einen solchen, so saugt jede Inspiration Luft durch den Knochen hindurch, jede Ausathmung treibt die Exspirationsluft wieder hinaus. Wenn man deshalb einen durchschnittenen Humerusknochen mit einer Marey'schen Kapsel verbindet, so kann man ohne jede Störung der trachealen Athmung die Respirations-

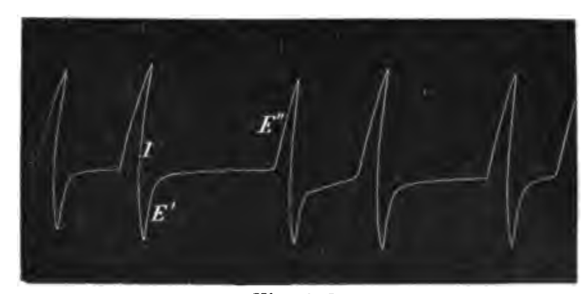


Fig. 215.
Eidechse. Athmung von der Luftröhre aus aufgezeichnet.
I Inspiration. E' erster, E'' zweiter Theil der Exspiration.

bewegungen sehr gut aufschreiben (S. Fig. 216). Die Vergleichung derartiger Curven mit solchen, die zu gleicher Zeit von der Luftröhre aus aufgezeichnet worden, ist sehr lehrreich.

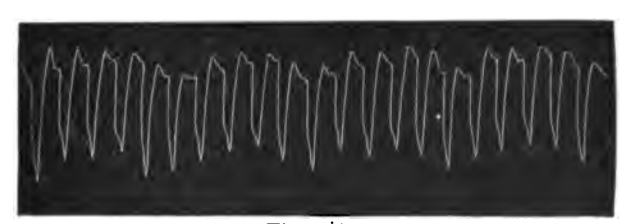


Fig. 216.
Athemcurven einer Krähe, vom Humerus aus aufgezeichnet.

Beim Frosch, dessen Athemmechanismus von dem der höheren Thierclassen erheblich abweicht, lassen sich die in der Mundhöhle eintretenden respiratorischen Druckschwankungen dadurch aufzeichnen, dass man in ein Nasenloch eine Glascanüle einführt und diese mit der Schreibkapsel verbindet. Leider reagirt der Frosch auf diesen Eingriff oft durch einen hartnäckigen Athemstillstand. Es ist deshalb besser, eine conische Canüle durch das Trommelfell hindurch in die

Paukenhöhle einzusetzen. Da diese mit dem Kehlraum in breiter Communication steht, gelingt es, von hier aus ganz brauchbare Aufzeichnungen zu gewinnen.

II. Aufzeichnung der intrathoracalen Druckveränderungen.

Führt man eine Röhre luftdicht in den Pleurasack eines Thieres ein, und verbindet man sie mit einem Schreibmanometer oder einer Marey'schen Kapsel, so kann man die innerhalb des Thorax, aber ausserhalb der Lungen vor sich gehenden Druckschwankungen registriren. Am einfachsten ist es, eine kleine Hautwunde am Thorax anzulegen und unter Verschiebung der Haut eine passend abgeschrägte Glascanüle durch einen Intercostalraum in die Pleurahöhle einzustossen. Ist etwas Luft durch die Röhre eingedrungen, so verbindet man diese sofort mit dem Schreibapparat. Die Ansammlung kleiner Luftmengen im Brustfellsack ist ganz unschädlich, grössere kann man durch Aussaugen entfernen. Leider wird die Canülenöffnung nicht selten verlegt. Es ist deshalb vielleicht rathsamer, auf das Verfahren zurückzugreifen, welches schon im Jahre 1847 von Ludwig angewendet worden ist. Er führte nämlich in die Pleurahöhle eine mit einem Wassermanometer in Verbindung gebrachte Sonde ein, die an ihrem Ende mit einer mit Wasser gefüllten Kautschukblase versehen war.

Aendert man dies Verfahren dahin ab, dass man ein dünnwandiges Kautschukbeutelchen einbringt, welches man mit Luft schwach aufbläst und mit einer Marey'schen Kapsel verbindet, so dürfte dieses die besten Dienste leisten.

Manche Experimentatoren wenden jedoch lieber eine andere Methode an, die den Vorzug hat, dass dabei die Anlegung eines Pneumothorax gänzlich vermieden wird, und die sich für gewisse Fälle entschieden empfiehlt.

Es ist das die zuerst von Ceradini, später von Luciani, Rosenthal u. A. empfohlene Einführung einer Schlundsonde in die Speiseröhre. Schiebt man eine solche oder statt ihrer eine nicht allzukurze Glascanüle so weit in den eröffneten Oesophagus hinein, dass ihr Ende sich im hinteren Mediastinum befindet, fixirt man dann das Rohr durch eine Ligatur und verbindet man es mit einer Marey'schen Schreibkapsel, so zeichnen sich die mediastinalen Druckschwankungen gut auf. Es empfiehlt sich, nach der Einführung der Röhre etwas Luft hineinzublasen, und sie erst dann mit der Schreibkapsel zu verbinden. Fig. 217 gibt ein Beispiel einer solchen Aufzeichnung.

Da die Operation schnell gemacht, die Schädigung des Thieres dabei eine unbedeutende ist — man kann die Einführung der Sonde sogar ohne Verletzung des Oesophagus vom Rachen aus vornehmen und das Verfahren auf diese Weise auch am Menschen anwenden, — so scheint diese Methode der Athmungsregistrirung eine ganz vortreffliche zu sein. Sie ist aber doch nicht immer sicher genug. Die Canüle wird allzuleicht in Folge des Eintrittes reflectorischer Oesophaguscontractionen verlegt; auch können solche Vorkommnisse den Schreibhebel in Bewegung setzen und zu Irrthümern Anlass geben. Nur bei völliger Lähmung der Speiseröhre ist man, wie François-Franck richtig hervorhebt, vor dergleichen Unannehmlichkeiten gesichert. Sind die beiden Vagi am Halse durchschnitten, so kann man daher das Verfahren unbedenklich anwenden.

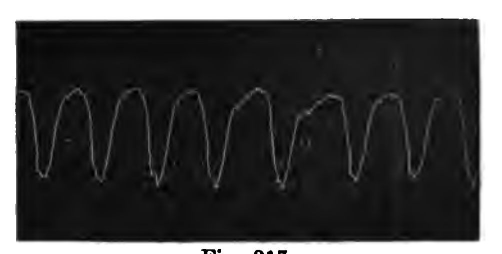


Fig. 217.
Kaninchen. Athmung vermittelst der Oesophagussonde aufgeschrieben.

Recht gute Dienste leistet für die Aufschreibung des intrathoracischen Druckes in vielen Fällen die Mediastinalcanüle, welche Knoll ursprünglich zur Aufzeichnung der Volumschwankungen des

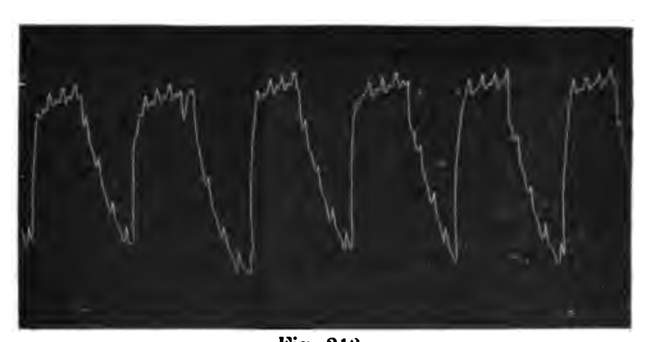


Fig. 218.
Kaninchen. Mediastinale Druckschwankungen. Knoll'sche Canüle.

Herzens angegeben hat. Das Instrument ist eine Art von Trocart, dessen Fenster in den beim Kaninchen sehr geräumigen vorderen Mittelfellraum zu liegen kommt. Es wird mit einer Marey'schen Schreibkapsel in Verbindung gesetzt Dass zugleich mit der Athmung die Veränderungen der Herzfüllung verzeichnet werden, ist kein Uebelstand; auch an anderen Athemcurven machen sich kardiale Wellen oft

bemerklich. Ueber die Beschaffenheit und die Gebrauchsweise dieses Instrumentes ist das Nähere bereits oben (S. 180) mitgetheilt worden.

Fig. 218 gibt ein Beispiel einer mit seiner Hilfe gewonnenen Aufzeichnung. Die kleinen Zacken entsprechen der Herzthätigkeit, die grossen den respiratorischen Druckveränderungen im vorderen Mediastinum.

In allen Fällen, in denen man die in den Luftwegen oder innerhalb des Thorax eintretenden Druckschwankungen registrirt, muss man auf eine sorgfältige Feststellung der Nulllinie achten, wenn man nicht bei der Ermittelung der Athmungstiefe, besonders aber bei der Beurtheilung von respiratorischen Stillständen in Irrthümer verfallen will.

Am zweckmässigsten ist es, nach dem Rath von Rosenthal zu verfahren. Man fügt an die mit Trachea oder Thorax verbundene Canüle ein Seitenrohr an, welches man, bis alle Verbindungen hergestellt sind, offen hält. Noch während seines Offenseins schreibt man die Abscisse, also die dem Nulldruck entsprechende Linie. Schliesst man das Seitenrohr, so beginnt die Aufzeichnung der Athmung. Man muss sich nun bemühen, die Schliessung in einem Augenblick vorzunehmen, in welchem der Thorax sich in seiner Gleichgewichtslage befindet. Nur für diesen Fall zeigen die unterhalb der Abscisse befindlichen Curvenstücke negativen, die sich über sie erhebenden positiven Druck an. Schlösse man dagegen das Seitenrohr auf dem Höhepunkt einer Inspiration, so könnte der Hebel überhaupt nur Ausschläge nach oben machen; würde es auf dem Gipfel einer activen Ausathmung geschlossen, so müssten alle Ausschläge nach unten erfolgen. Die wahre Abscissenlinie solcher Curven läge also höher oder tiefer als die bei Nulldruck angeschriebene; bliebe dies unberücksichtigt, so könnte es sich leicht ereignen, dass man einen tetanischen Inspirationsstillstand für eine Ruhepause hielte oder die Athemtiefe ganz unrichtig beurtheilte.

Drittes Capitel.

Registrirung des Athemvolumens.

Die Aufzeichnung der Athembewegungen mittelst der Marey'schen Luftkapsel bei Einschaltung einer geräumigen Vorlage gibt zwar ein ungefähres Bild von der Grösse der gewechselten Luftvolumina; zur Messung desselben würde sich das Verfahren aber selbst dann

kaum eignen, wenn man eine empirische Graduirung des benutzten Systemes vornehmen wollte. Zum gewünschten Ziele führt nur die Spirographie, d. h. die Aufzeichnung der Angaben von Vorrichtungen, die ihrer Natur nach zur Messung der respiratorischen Luftvolumina bestimmt sind, von Spirometern, Gasuhren u. dgl.

Trennt man die In- und Expirationsluft eines tracheotomirten Thieres von einander in bekannter Weise durch leichtgehende Ventile (etwa Müller'sche oder Voit'sche Wasserventile), und lässt man in ein gut äquilibrirtes Spirometer entweder die Athmungsluft hineingelangen oder aus ihm die Einathmungsluft entnehmen, so ist leicht eine Einrichtung auszudenken, vermittelst welcher der Apparat die ihm übergebenen oder die aus ihm geholten Luftmengen zur graphischen Darstellung bringen könnte.

So vermochten Kronecker und Marckwald durch Anbringung von elektrischen Contacteinrichtungen an einem Hutchinson'schen Spirometer die jedesmalige Entnahme von 200 *ccm* Einathmungsluft durch einen Schreibmagnet auf einem bewegten Cylinder zu markiren.

Ich selbst habe eine richtig calibrirte und möglichst geringen Widerstand bietende Elster'sche Gasuhr so eingerichtet, dass jedesmal, wenn vom Exspirationsventil aus ein Liter Luft hindurchgegangen war, dies mittelst eines Luftkapselsystems registrirt werden konnte. [1]) Verglich man die so entstandenen Signale mit den darunter geschriebenen Zeitmarken, so konnte man daraus leicht eine Curve ableiten, aus der die zeitlichen Veränderungen des Exspirationsvolumens sich ersehen liessen.

Panum registrirte direct die Auf- und Abbewegungen eines gut compensirten Spirometercylinders, in dessen Hohlraum das untersuchte Thier ohne Einschaltung von Ventilen ausathmete, und aus dem es inspirirte. Am Cylinder war nämlich eine einfache Schreibvorrichtung angebracht, die auf die vorbeibewegte Trommel zeichnete. Die Ordinaten der auf diese Weise gewonnenen Curven drückten somit die hin- und hergeathmeten Luftvolumina aus.

---

[1]) An dieser Gasuhr ist ein Schlagwerk angebracht, welches den jedesmaligen Durchgang von einem Liter Luft durch ein Glockensignal markirt. In den hier erwähnten Versuchen wurde die Glocke abgenommen und durch eine Marey'sche Aufnahmekapsel ersetzt. Der Klöppel des Schlagwerkes berührte dann jedesmal, wenn ein Liter Luft durch die Gasuhr gegangen war, die Kapsel. Stand diese mit einem Zeichentambour in Verbindung, so markirte dieser jeden Schlag auf der rotirenden Trommel. Unter diese Signalcurven wurde die Zeit geschrieben.

Natürlich könnte der Hammer auch mit einem elektrischen Contact und dieser mit einem Schreibmagnet in Verbindung gesetzt werden.

Mehr und Besseres als die genannten Vorrichtungen leistet der Athemvolumschreiber (Aëroplethysmograph) von Gad. Derselbe ist eigentlich ebenfalls ein registrirendes Spirometer; doch ist es von eigenthümlicher Form und dem besonderen Zwecke angepasster Construction.

Das Princip der Vorrichtung erläutert die beistehende schematische Durchschnittszeichnung.

Die Athemwege des Thieres stehen in Verbindung mit einem Luftraum, der oben durch einen um die Axe *a* beweglichen, in Wasserverschluss gehenden, aus Glimmer verfertigten Deckel *d* begrenzt wird. Dieser Deckel ist vermittelst eines um *a* verstellbaren auf einem Seitenarm das Laufgewicht *g* tragenden Fortsatzes in allen seinen Lagen vollständig äquilibrirt. Gelangt Luft aus dem Thier in den Hohlraum hinein, so hebt sich der Deckel; wird Luft aus ihm vom Thier entnommen, so sinkt er.

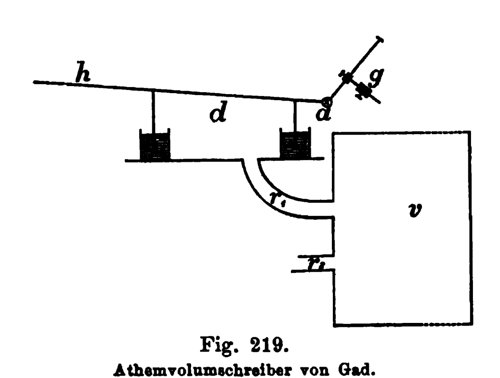


Fig. 219.
Athemvolumschreiber von Gad.

Diese den gewechselten Luftvolumina proportionalen Erhebungen und Senkungen werden durch einen langen, mit *d* verbundenen Schreibhebel *h* auf den rotirenden Cylinder aufgezeichnet. Der Deckel ist so leicht beweglich, dass erhebliche Druckdifferenzen der Spirometerluft und der Atmosphäre nicht entstehen können. Um der Verschlechterung der eingeschlossenen Luft vorzubeugen, befindet sich zwischen dem Thier und dem Apparat eine sehr geräumige Luftvorlage *v*, die durch das Rohr r^1 mit dem Spirometer, durch das Rohr r^2 mit der Luftröhre des Thieres in Verbindung steht.

Die vermittelst dieses Apparates gezeichneten Curven stellen ebenfalls die Athemvolumina direct dar. Der Volumwerth der Ordinaten ist durch Graduirung mittelst bekannter Luftvolumina leicht zu bestimmen. Da die Aufzeichnungen auch über etwaige bleibende Aenderungen der Entfernung des Thorax aus seiner Gleichgewichtslage (Aenderung des respiratorischen Tonus) genaue Auskunft geben, so wird man durch sie in den Stand gesetzt, die Grösse der geleisteten Athemarbeit zu beurtheilen.

Ein brauchbarer Athemvolumenzeichner liesse sich vielleicht auch dadurch gewinnen, dass man, unter Einschaltung einer Luftvorlage,

die Trachea des untersuchten Thieres mit einer nach dem Princip des Piston-recorder construirten Vorrichtung in Verbindung setzte. Ein gut gearbeiteter Apparat dieser Art müsste der hier gestellten Aufgabe gewachsen sein; vor dem Gad'schen Volumschreiber hätte er den Vorzug, dass man die Schreibvorrichtung in beliebiger Entfernung vom Versuchsobjecte aufstellen könnte; vor der Marey'schen Kapsel hätte er die Proportionalität seiner Ausschläge und die Vermeidung elastischer Gegenkräfte voraus.

Viertes Capitel.

Plethysmographische Untersuchung der Athembewegungen.

An die Athemvolumschreibung schliesst sich ein Verfahren an, welches die unter dem Einfluss der Athembewegungen stattfindenden Volumveränderungen des ganzen Thieres zum Gegenstand der graphischen Darstellung macht.

Das Princip dieses Verfahrens ist seit langer Zeit bekannt. Schon Swammerdam sah, dass wenn man einen Hund in einen mit Wasser gefüllten Kessel taucht, nachdem ihm vorher ein langes über das Wasser ragendes Rohr in die Luftröhre eingesetzt worden ist, die Wasseroberfläche den Respirationsbewegungen entsprechend steigt und fällt.

Diese Beobachtung, die gleichzeitig mit jenem grossen Naturforscher auch Borelli gemacht zu haben scheint, weist den Weg für einen besonderen Modus der graphischen Registrirung der Athembewegungen.

Brächte man ein Thier so in einen geschlossenen, mit Wasser oder besser mit Luft gefüllten Raum, dass allein der Kopf oder eine in die Luftröhre eingebundene Canüle mit der äusseren Atmosphäre in Verbindung bliebe, und verbände man den besagten Raum mit einem Manometer, so würde man bei jeder Einathmung die Manometersäule steigen, bei jeder Ausathmung wieder sinken sehen. Jede inspiratorische Volumzunahme des Thieres würde ebensoviel Wasser oder Luft aus dem Raume verdrängen, wie die eingeathmete Luftmenge beträgt, und dadurch das Manometer in die Höhe treiben; die exspiratorische Verkleinerung des Thiervolumens müsste die entgegengesetzte Wirkung haben.

Setzte man auf das Manometer einen Schwimmer, oder benützte man statt seiner eine Marey'sche Schreibkapsel, so könnten diese Schwankungen registrirt werden.

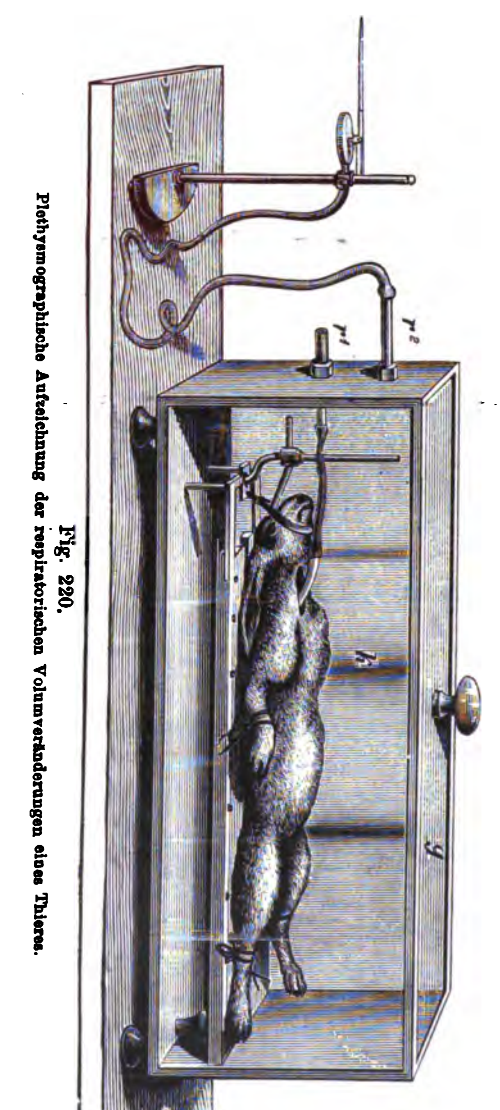


Fig. 220.
Plethysmographische Aufzeichnung der respiratorischen Volumveränderungen eines Thieres.

Der Erste, welcher dies Verfahren geübt hat, scheint Marey gewesen zu sein; später haben es Hering und Knoll angewendet und weiter ausgebildet.

Es ist zweifellos, dass dasselbe für manche Zwecke sehr gute Dienste zu leisten im Stande ist. Wünscht man beispielsweise, wie das bei gewissen Untersuchungen von Knoll und von Bernstein der Fall war, den Einfluss der Inhalation reizender Dämpfe oder bestimmter Gasgemische auf die Athembewegungen zu studiren, so ist diese Methode der Athmungsregistrirung den sonst üblichen entschieden überlegen.

Die nebenstehende Versuchsanordnung dürfte geeignet sein, dies klar zu machen.

Der geräumige, mit gläsernen Wänden oder wenigstens mit einer aus Glas bestehenden Wand ausgestattete, mit Luft gefüllte Kasten *k* nimmt das auf das Operationsbrett gespannte Thier (Kaninchen) auf. Der abhebbare gläserne Deckel *g* kann dadurch, dass man alle Fugen mit Thon verkittet, den man mit glycerinhaltigem Wasser (Gad) oder mit Fett angeknetet hat, den Kasten luftdicht verschliessen. Ein möglichst kurzer, mit der in die Trachea ein-

gefügten Canüle verbundener Schlauch steht mit einem die eine Seitenwand durchbohrenden Rohr r^1 in Verbindung. Ein zweites Rohr (r^2) führt aus dem Kasten zur Marey'schen Kapsel.

Es ist nun leicht zu sehen, dass man mit dem Trachealrohr r^1 leicht Reservoire in Verbindung setzen kann, welche Luftgemische von beliebiger Zusammensetzung enthalten. Das Thier ist gezwungen, sie einzuathmen, und der Zeichenhebel registrirt die in Folge davon etwa entstehenden Veränderungen der Respiration in schärfster Weise.

Durch die Betrachtung dieser Einrichtung wird aber auch die Unvollkommenheit klar, an welcher sie leidet. Beabsichtigt man nämlich irgend welche unmittelbare Eingriffe am Versuchsthier vorzunehmen, will man einen Nerven durchschneiden, ein Gift, ein Narcoticum einspritzen, so ist das ohne Unterbrechung der Aufzeichnung, vielleicht sogar ohne Herausnahme des Thieres aus dem Kasten gar nicht möglich. Freilich hat Knoll an seinem Apparat Einrichtungen getroffen, durch welche Injectionen in eine Vene, Durchschneidung und Reizung der Vagi von aussen her möglich gemacht werden, ohne dass die Aufzeichnung auch nur einen Augenblick unterbrochen zu werden braucht. Aber Veranstaltungen dieser Art compliciren und vertheuern den Apparat natürlich sehr.

Seine Verwendbarkeit wird deshalb auf solche Fälle beschränkt bleiben, in denen Eingriffe dieser Art nicht nothwendig, oder Unterbrechungen der Aufzeichnung nicht von Schaden sind.

Manche haben geglaubt, den Angaben, die man durch dieses Versuchsverfahren erhält, misstrauen zu müssen, weil die mögliche Compression von Darmgasen nicht vorhandene respiratorische Volumveränderungen vortäuschen könnte. Ich glaube nicht, dass dieser Fehler bei den gewöhnlichen Versuchsbedingungen ernstlich in Betracht kommen kann.

Verbindet man das Rohr r^2 anstatt mit einer Marey'schen Kapsel mit einem Gad'schen Volumschreiber oder einem Piston-recorder, so kann ein solcher Schreibapparat auch sehr brauchbare Angaben über die Grösse der Athemvolumina machen.

Fünftes Capitel

Registrirung der Zwerchfellbewegungen.

Sticht man eine lange Nadel durch die Bauchwand hindurch in das Zwerchfell ein, so gibt diese die rhythmischen Bewegungen dieses Muskels deutlich wieder. Man kann nun das äussere Ende der

Nadel durch einen über eine Rolle geführten Faden mit einem Zughebel verbinden und auf diese Art eine Aufzeichnung der Zwerchfellbewegungen erhalten.

Dieses Verfahren ist indess recht unvollkommen und wohl mehr zu Demonstrationszwecken als zu Untersuchungen geeignet.

Eine brauchbare, wenn auch schwerfällige Vorrichtung zur Registrirung der Zwerchfellcontractionen hat zuerst Rosenthal construirt und als Phrenograph bezeichnet. Der wesentlichste Bestandtheil desselben ist ein passend geformter Hebel, der durch eine in die Bauchwand gemachte Oeffnung zwischen Leber und Zwerchfell geschoben, sich vermöge der ihm gegebenen Krümmung der Zwerchfellkuppe gut anlegt und allen Bewegungen derselben exact folgt. Mit ihm war bei dem ursprünglichen Apparat eine complicirt gebaute Schreibvorrichtung verbunden, die auf einen vorüberziehenden Papierstreifen schrieb.

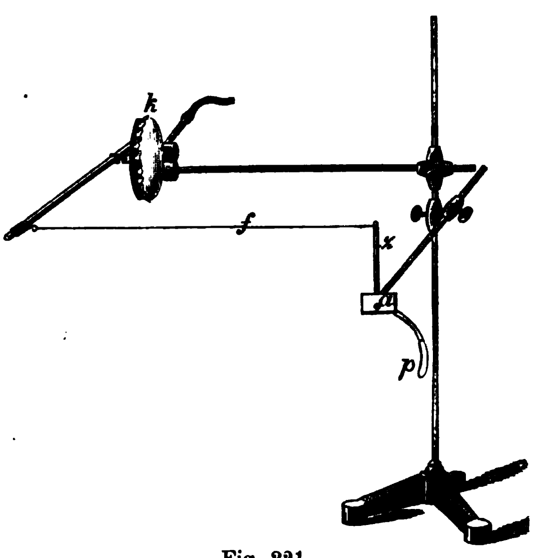


Fig. 221.
Transmissions-Phrenograph ($^1/_3$ nat. Gr.)

Neuerdings hat Rosenthal den Apparat dadurch erheblich verbessert, dass er den Zwerchfellhebel mit einem Luftkapselsystem verband.

Ich habe diesem Transmissionsphrenographen die in der Abbildung Fig. 221 dargestellte Form gegeben, in welcher er sich vielfach bewährt hat.

z ist der von Rosenthal angegebene winkelig gebogene, im Axenlager *a* drehbare, metallene Zwerchfellhebel, der an seinem unteren Ende die passend gekrümmte flache Elfenbeinpelotte *p* trägt. Sein oberes Ende ist durch einen Faden *f* mit einem auf der Marey'schen Luftkapsel *k* beweglichen Holzstäbchen verbunden. Zwerchfellhebel und Kapsel sind, in mehrfacher Weise gegeneinander verstellbar, auf einem Stativ angebracht. Nachdem der Zwerchfellhebel durch eine kleine Bauchwunde in den Bauchraum zwischen Zwerchfell und Le-

ber eingeführt und in richtiger Stellung fixirt ist, setzen seine Bewegungen die Aufnahmekapsel *k* und dadurch einen mit ihr verbundenen tambour inscripteur in Thätigkeit.

Durch den Umstand, dass hier, anders wie beim Rosenthal'schen Apparat, der Hebel nicht direct auf die Kapselmembran einwirkt, sondern durch Vermittelung eines mit ihr in Verbindung stehenden



Fig. 222.
Kaninchen. Vagi durchschnitten. Transmissions-Phrenograph.

hebelnden Holzstäbchens, werden die Ausschläge allerdings verkleinert; dafür spricht die Kapsel aber leichter an.

Von den mit Hilfe dieser Vorrichtung erhaltenen Aufzeichnungen gibt Fig. 222 ein Beispiel.

Die Inspirationen entsprechen natürlich dem aufsteigenden, die Exspirationen dem absteigenden Theil der Curve.

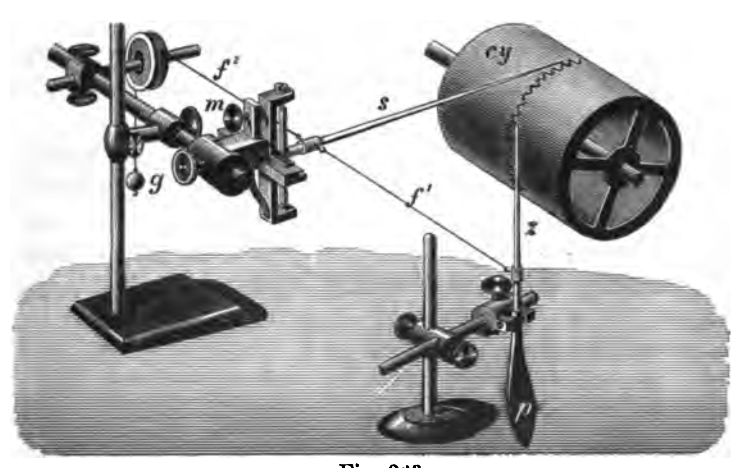


Fig. 223.
Zwerchfellhebel von Kronecker und Marckwald.

Einen directen Phrenographen haben Kronecker und Marckwald angegeben und vielfach benutzt. Denselben stellt Fig. 223 nach einer von Kronecker gegebenen Abbildung dar.

Hier ist *z* der um eine Axe leicht bewegliche, mit der spatelförmigen Platte *p* ausgestattete Zwerchfellhebel. Die Platte wird beim Kaninchen durch eine am besten rechts vom Schwertfortsatz des Brustbeines im Winkel zwischen diesem und dem Ansatz der letzten wahren Rippe gemachte kleine Oeffnung in die Bauchhöhle eingeführt und zwischen Zwerchfell und Leber gelagert. Der obere Hebelarm steht durch den Faden f^1 mit dem langen, an den Cylinder *cy* gelehnten Schreibhebel *s* in Verbindung. Derselbe ist in horizontaler Ebene um eine in Spitzen gehende Axe beweglich.

Als Gegenkraft wirkt auf ihn ein kleines Gewicht *g*, welches an dem am Hebel befestigten, über eine Rolle geführten Faden f^2 zieht. Die beiden Fäden sollen bei richtiger Einstellung in einer geraden horizontalen Linie liegen.

Zur Herstellung einer passenden Reibung der Schreibhebelspitze auf dem berussten Cylinder dient eine mikrometrische Stellvorrichtung *m*, durch die man den Hebel von der Trommel abheben oder auf sie niederlassen kann.

Eine für viele Zwecke ausreichende Aufzeichnung der Zwerchfellbewegungen kann man auch dadurch erhalten, dass man zwischen Zwerchfell und Leber ein kleines mit Luft aufgeblasenes Kautschukbeutelchen bringt und dieses mit der Schreibkapsel von Marey in Verbindung setzt.

Es lassen sich auf diese Weise sogar die Bewegungen der beiden Zwerchfellhälften, deren Rhythmus unter gewissen Bedingungen kein übereinstimmender ist, gesondert aufschreiben. Natürlich ist aber das Verfahren kein sehr genaues.

Endlich sei hier noch erwähnt, dass man auch die rhythmische Verkürzung des Zwerchfellmuskels oder vielmehr einzelner Bündel desselben auf einen Schreibhebel wirken lassen und so eine sehr genaue Darstellung seiner Bewegungen gewinnen kann. Head hat vor Kurzem eine dahin zielende Methode angegeben und mit Erfolg benutzt.

Sechster Abschnitt.

Graphische Untersuchung der Muskeln. (Myographie.)

Erstes Capitel.

Registrirung der Muskelverkürzung.

Um den zeitlichen Verlauf der Muskelcontraction aufzuzeichnen, bringt man mit dem Muskel eine Schreibvorrichtung in Verbindung, die seinen Längenänderungen folgt und sie vergrössert wiedergibt. Damit der Muskel gespannt sei und damit er nach jeder Zuckung sich wieder zur alten Länge ausdehne, belastet man ihn in der Regel mit einem unter dem Schreibhebel angebrachten Gewicht. Die Zeichen-

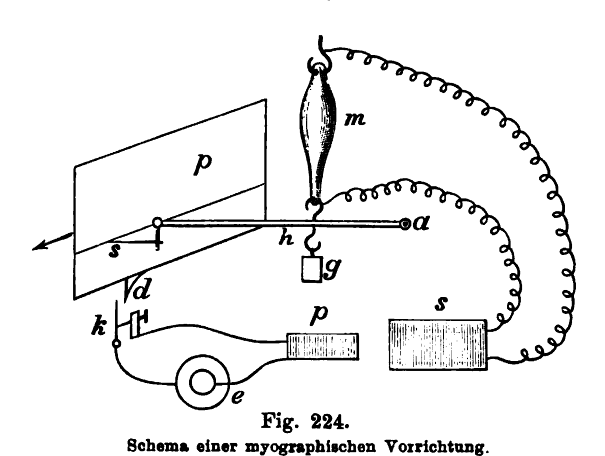


Fig. 224.
Schema einer myographischen Vorrichtung.

spitze lässt man eine geeignete Fläche (berusste Platte, Cylinder) berühren, die sich mit genau messbarer Geschwindigkeit an ihr vorbeibewegt. Die Schreibplatte etc. versieht man mit einer Vorrichtung, durch welche sie selbst bei ihrem Vorübergang den dem Muskel oder seinem Nerven zuzuführenden Reiz auslöst.

Fig. 224 (die mit Benutzung einer Zeichnung von Hermann entworfen ist) stellt schematisch eine solche myographische Vorrichtung

dar; *m* ist der vertical aufgehängte Muskel, *h* der um die Axe *a* drehbare, mit der Schreibspitze *s* versehene Zeichenhebel; *p* bedeutet die zur Aufnahme der Zeichnung bestimmte, durch irgend welche Kraft in der Richtung des Pfeiles bewegbare Schreibplatte. Bei *d* trägt dieselbe einen Fortsatz, „Daumen,“ der bei einer bestimmten Stellung der Platte den bei *k* gezeichneten elektrischen Contact löst. Da dieser Contact in den primären Kreis (*p*) eines von dem Element *e* gespeisten Inductionsapparates eingeschaltet ist, so wird dem mit der secundären Rolle (*s*) des Apparates verbundenen Muskel in demjenigen Augenblick ein Oeffnungsschlag ertheilt, in welchem der Daumen den Contacthebel umwirft. *g* ist ein unter den Ansatzpunkt des Muskels an den Schreibhebel gehängtes Gewicht.

Zieht sich der Muskel in Folge der Reizung zusammen, so zeichnet die Schreibspitze auf die vorüberbewegte Platte eine Curve, welche die vom Muskel durchlaufenen Längenänderungen darstellt: die Zuckungscurve.[1])

Alles, was man von einer zur zeitlichen Analyse der Muskelzuckung bestimmten Vorrichtung beanspruchen kann, leistet in sehr vollkommener Weise das von Helmholtz erfundene Myographion. Allerdings erreicht man heutzutage denselben Zweck, dem es zu dienen hatte, durch weit einfachere Mittel, so dass der Helmholtz'sche Apparat nur wenig und wohl nur zu Unterrichtszwecken Verwendung findet. Aber seine geschichtliche Bedeutung ist so gross, seine Einrichtung eine so lehrreiche und mustergiltige, dass eine genauere Schilderung desselben hier nicht unterlassen werden kann.

I. Das Helmholtz'sche Myographion und seine Modificationen.

Dasselbe besteht aus einem durch ein Uhrwerk in Umdrehung versetzten Cylinder und dem mit dem Muskel verbundenen Schreibwerk. Fig. 225—227 (nach der von Helmholtz selbst entworfenen Zeichnung) stellen die Einrichtung des Apparates dar.

Auf dem idealen Durchschnitt Fig. 225 ist *cy* ein kleiner sorgfältig geschliffener Glascylinder, der mit einer Russschicht überzogen und auf die Axe *a* eines Uhrwerkes gesetzt wird, welches, durch die Kraft eines fallenden Gewichtes bewegt, ihn in schnelle Umdrehung versetzt. Der Gang der Axe wird durch die mit ihr verbundene schwere, aus Blei verfertigte Schwungscheibe *s s* regulirt. An der unteren Fläche derselben sind zwei Flügel *fl fl* angebracht, die in eine kreisförmige,

[1]) Länger dauernde, nicht durch Einzelreize erregte Zusammenziehungen von Muskeln, wie sie im Tetanus und bei der willkürlichen Bewegung stattfinden, werden in ähnlicher Weise dargestellt.

mit Oel gefüllte Rinne eintauchen. Je nachdem man die Rinne höher oder tiefer stellt und je nach der Stellung, die man den Flügeln gibt,

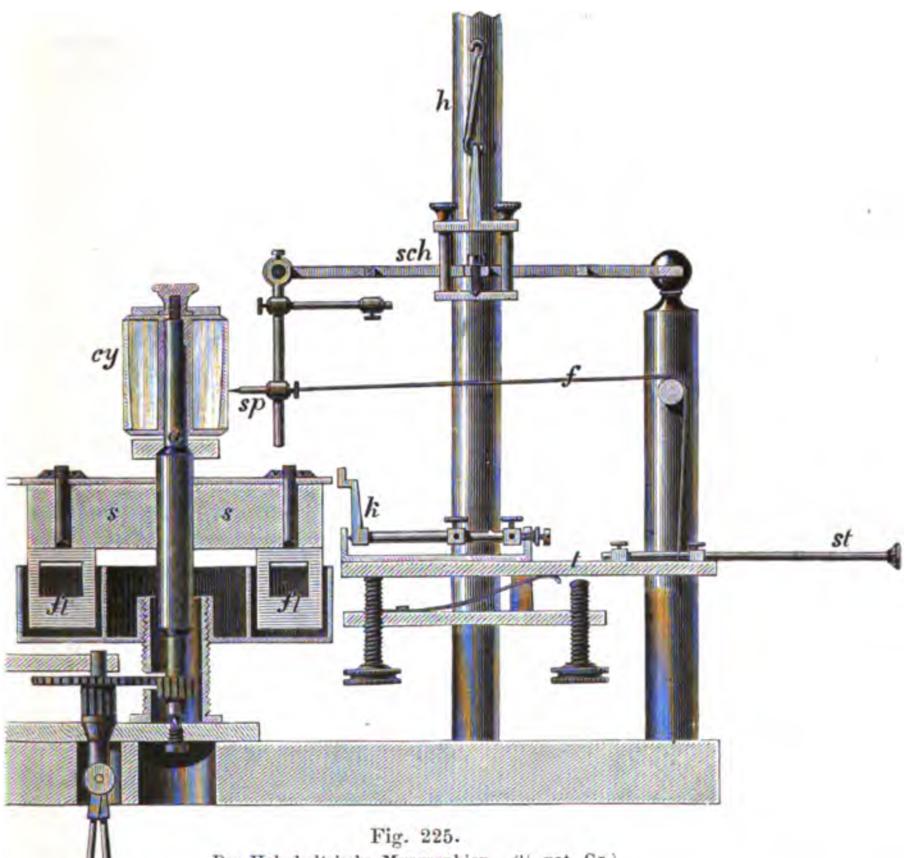


Fig. 225.
Das Helmholtz'sche Myographion. (1/2 nat. Gr.)

kann man die Umdrehungsgeschwindigkeit des Cylinders vergrössern oder verkleinern.

Der (hier nicht sichtbare) Muskel, der zum Schutz gegen Eintrocknung sich in einem kleinen, mit Wasserdampf gefüllten Raum, einer „feuchten Kammer“ befindet, wird an seinem oberen Ende von einer Zange gehalten; an seinem unteren hängt vermittelst des in der Sehne befestigten Hakens *h* das Schreibgehänge *sch*. Dasselbe ist so eingerichtet, dass die an ihm befindliche Zeichenspitze *sp* durch die Längenänderungen des Muskels vertical auf- und abwärts bewegt und bei allen ihren

Bewegungen in steter Berührung mit der Cylinderoberfläche erhalten wird.

Durch ein Zwischenstück steht nämlich der Muskel in Verbindung mit einem metallenen Rahmen (in Fig. 226 von oben dargestellt), der um die Axe *a a* drehbar ist. Dieser trägt eine in Spitzen gehende kleine Welle *w*, von welcher ein mit der Schreibspitze verbundener Stab herabhängt. Zieht sich der Muskel zusammen, so wird der Rahmen und damit die Schreibspitze gehoben, und zwar wird, entsprechend den Dimensionen des Schreibrahmens, der Muskelhub um das zweifache vergrössert. Auf demselben Stabe welcher die Schreibspitze trägt, ist ein Seitenarm befestigt, der vermittelst eines auf ihm verschieblichen Laufgewichtes das Andrücken der Spitze an den Cylinder besorgt (Fig. 225). Der Faden *f* zieht über ein Röllchen zum Stifte *st*; durch Drehung desselben kann die Schreibspitze vom Cylinder abgezogen oder ihm genähert werden. (Eine perspectivische Zeichnung von einem sehr ähnlich eingerichteten Schreibapparat, dem des Pflüger'schen Myographions, gibt Fig. 229 auf Seite 280).

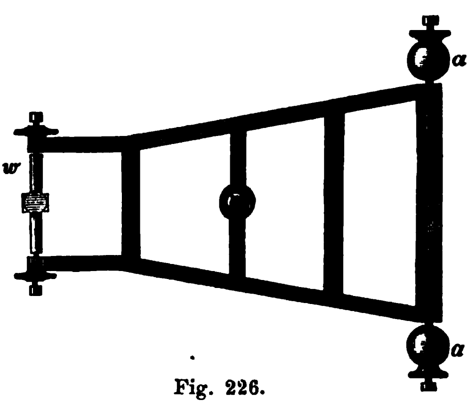


Fig. 226.
Der Schreibrahmen des Myographions von oben.
(1/2 nat. Gr.)

Eine weitere an dem Apparat angebrachte Einrichtung dient zur **selbstthätigen Auslösung des Reizes.** Auf dem Tischchen *t*, auf welchem auch der Stift *st* angebracht ist, ist eine Contactvorrichtung *k* befestigt. Eine über der Schwungscheibe des Cylinders befindliche Messingplatte trägt einen Daumen („Nase"), der bei seinem Vorübergang den Contact umzuwerfen und dadurch den primären Kreis eines Inductionsapparates zu öffnen hat, in dessen secundären der Muskel oder sein Nerv aufgenommen ist. Die Contactvorrichtung zeigt Fig. 227 von oben gesehen. *s* ist die erwähnte Scheibe, *d* ihr vorspringender Daumen, *k* der Contacthebel, durch dessen Umwerfen der Platincontact *p* und gleichzeitig oder bald darauf der daneben befindliche, demselben Stromkreis angehörige Quecksilbercontact gelöst wird.

Der die Contactvorrichtung tragende Tisch *t* ist um eine Axe *a a* (Fig. 227) drehbar. Uebt man mit dem Finger einen Druck auf *st*,

so dreht sich das Tischchen derartig, dass bei der Rotation der Schwungscheibe der Contacthebel von dem Daumen nicht berührt werden kann. Bei der Ausführung eines Versuches thut man dies so lange, als der in Gang gesetzte Cylinder noch nicht die gewünschte Geschwindigkeit erreicht hat. Erst wenn die Kugeln des mit dem Uhrwerk verbundenen Centrifugalpendels *pe* auseinander zu weichen beginnen, ist die Zeit gekommen, wo man mit dem Druck nachlassen und dadurch den Contact in das Bereich des Daumens bringen kann. Der Muskel wird also erst dann zur Zuckung angeregt, wenn der Cylinder eine gewisse, genau bestimmbare, innerhalb des für den eigentlichen Versuch in Betracht kommenden Zeitraumes nicht merklich schwankende Umdrehungsgeschwindigkeit erreicht hat.

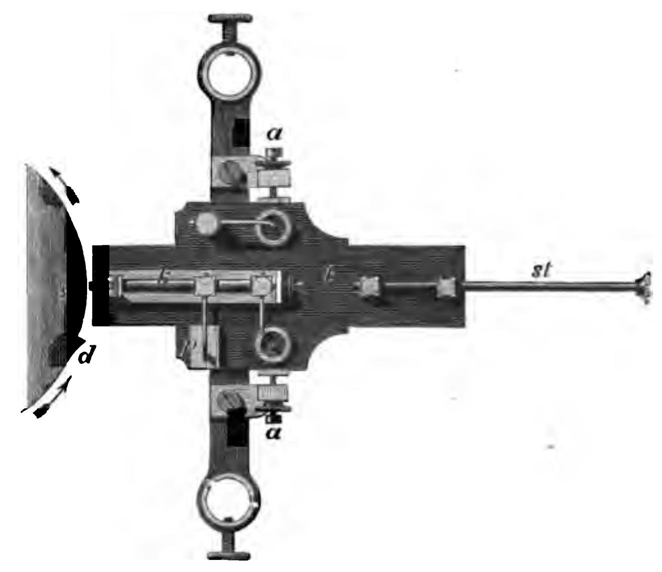


Fig. 227.
Die Contact-Vorrichtung des Myographions von oben ($^1/_2$ nat. Gr.)

Der Druck auf den Stift *st* hat ausserdem die Wirkung, dass die Zeichenspitze *sp* einstweilen von dem Cylinder noch abgezogen bleibt und dadurch verhindert wird, vor ihrem eigentlichen Gebrauch zu schreiben. Mit dem Nachlass des Fingerdruckes legt sie sich, und dies natürlich kurz vor der Reizertheilung, an die Schreibfläche an. Ist die Muskelzuckung erfolgt, hat die Schreibspitze die Curve gezeichnet, so drückt man den Stift wieder nieder und hält dann das Uhrwerk an.

Sehr sinnreich und dabei einfach und absolut genau ist das Verfahren, welches Helmholtz ersonnen hat, um den Augenblick

der Reizung auf dem Cylinder zu vermerken. Man bedient sich desselben allgemein auch dann, wenn andere myographische Apparate zur Verwendung kommen. Zur Vornahme der Reizverzeichnung richtet man Alles wie zur Vornahme eines Versuches her. Den Zeichenstift legt man an den Cylinder an, der Contact wird geschlossen. Dann dreht man die Schwungscheibe ganz langsam mit der Hand, bis ihr Daumen den Contacthebel berührt und dadurch den Contact öffnet. So lange hat der Stift eine horizontale Linie gezeichnet; in dem Augenblick der Berührung aber erhält der Muskel seinen Reiz; er zuckt, und der Schreibstift zeichnet jetzt eine senkrechte Linie, d. h. eine Zuckungscurve, die sich auf einen einfachen Strich zusammengedrängt darstellt, da der Cylinder während der Zuckungsdauer seine Stellung nur unmerklich verändert hat. Es ist klar, dass diese Marke an der Stelle verzeichnet wird, an welcher die Zeichenspitze jedesmal im Augenblicke der Reizung steht. Sie gibt somit diejenige Stellung des Cylinders an, bei welcher in allen Fällen, also auch beim schnellsten Gange, die Reizung erfolgt.

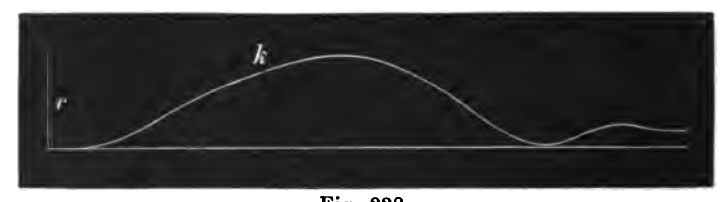


Fig. 228.
Muskelcurve, vermittelst der Helmholtz'schen Myographions gezeichnet.

Wird nach ausgeführter Reizmarkirung der Stift wieder niedergedrückt, der Contact wieder hergestellt, das Uhrwerk in Gang gebracht, und verläuft dann der Versuch wie oben geschildert, so zeichnet der zuckende Muskel eine Curve, deren Fusspunkt um den Werth der zwischen Reizmoment und Zuckungsbeginn liegenden Zeit (Latenzzeit) von der vorher gezeichneten Marke entfernt sein muss.

Fig. 228 (nach Helmholtz) gibt eine auf diese Weise gewonnene Aufzeichnung wieder. (Die verticalen Höhen der Originalcurve sind der Deutlichkeit halber verdoppelt worden.) *r* ist das Reizsignal, *k* die Zuckungscurve. Man erkennt, dass zwischen der Reizung und dem Beginn der Verkürzung ein nicht unbeträchtliches Stadium latenter Reizung gelegen ist; man sieht ferner, dass der Muskel erst mit zunehmender, dann mit abnehmender Geschwindigkeit sich verkürzt hat, um darauf erst schnell, dann langsamer zu erschlaffen. An den absteigenden Theil der Curve schliessen sich noch (hier nur theilweise wiedergegebene) Schwankungen an, die in Eigenschwingungen des schweren Schreibhebels ihren Grund haben.

Der Cylinder, auf den die mitgetheilte Curve gezeichnet wurde, drehte sich während des Versuches 6 mal in der Secunde; sein Umfang betrug 85·7 *mm.* Daraus berechnet sich der Zeitwerth pro Millimeter Abscisse zu $\frac{1}{514{\cdot}2}$ Sec. Die Dauer der Zuckung wie die ihrer einzelnen Phasen und die Grösse der Latenzzeit ist daraus leicht zu berechnen.

Um die auf den Cylinder gemachten Zeichnungen aufzubewahren, spannte Helmholtz denselben in eine Gabel, zwischen deren Zinken er gedreht werden konnte, und rollte ihn auf einer durch Anhauchen befeuchteten Fischleimplatte ab. Diese hält den Russ fest. Legt man sie dann mit ihrer schwarzen Seite auf ein nasses weisses Papier, so klebt sie fest, und die Zeichnung erscheint sehr deutlich weiss auf schwarzem Grunde.

Das beschriebene Myographion hat mehrfache Aenderungen erfahren, die theils von Helmholtz selbst, theils von anderen Forschern herrühren. Eine der wichtigsten ist die Einführung einer beim Eintritt der gewünschten Cylindergeschwindigkeit selbständig wirksamen Vorrichtung zur Senkung des Tischchens *t*. Zu diesem Behuf ist am Centrifugalpendel ein Daumen angebracht, der beim Eintritt der Spreizung der Kugeln sich hebt. Hat dieser Daumen eine bestimmte Höhenstellung erreicht, so schlägt er den vorspringenden Arm eines Hebelwerkes fort, das durch einen Seidenfaden mit dem am Tische *t* angebrachten Stift *st* verbunden ist. So lange das Hebelwerk durch den Daumen nicht berührt wird, ist der Faden gespannt und der Stift durch ihn nach unten gedrückt. Wird der Hebelarm weggeschlagen, so erschlafft der Faden, das freigegebene Tischchen dreht sich um seine Axe, nähert dadurch die Schreibspitze dem Cylinder und bringt zugleich den Contacthebel *ko* in das Bereich der an der Schwungscheibe befindlichen Nase.

An dem im Königsberger physiologischen Institut befindlichen Myographion ist ausserdem eine Einrichtung angebracht, vermittelst deren ohne Zuthun des Experimentators der erwähnte Seidenfaden nach geschehener Aufzeichnung wieder gespannt, die Zeichenspitze also vom Cylinder wieder abgezogen wird. Die Drehung des Tischchens löst nämlich den Fall eines eisernen Stabes aus, welcher auf den erschlafften Seidenfaden treffend, denselben wieder spannt, das Tischchen also wieder vom Cylinder entfernt. Vom Beginn des Falles bis zu seiner Wirkung vergeht eine Zeit, die gross genug ist, um die Aufzeichnung der Curve zu erlauben.

Sehr wesentliche Veränderungen hat du Bois-Reymond am Helmholtz'schen Myographion angebracht. Den von ihm modificirten Apparat hat zuerst v. Bezold beschrieben; in Rosenthal's Allgemeiner Physiologie der Muskeln und Nerven (S. 51, Fig. 17) ist er abgebildet.

Besonders bemerkenswerth ist die Art und Weise, wie bei der von v. Bezold benutzten Vorrichtung der Reiz ausgelöst wird. Aus der Schwungscheibe springt hier nämlich bei einer bestimmten Umdrehungsgeschwindigkeit eine durch die Centrifugalkraft hervorgetrie-

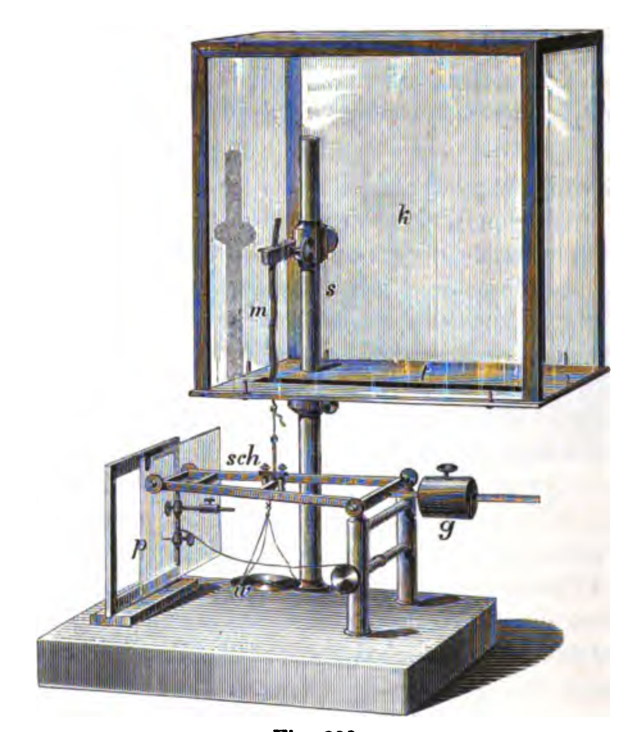


Fig. 229.
Das Myographion von Pflüger. (1/3 nat. Gr.)

bene Nase heraus, die den Contacthebel umlegt. Das Centrifugalpendel des Helmholtz'schen Apparates, die Hebelverbindung zwischen Pendel und Contacttisch, endlich auch die Beweglichkeit des letzteren ist dadurch überflüssig geworden. Der Zeichenstift wird kurz vor der Reizertheilung mit der Hand an den Cylinder angelegt; ein Zählwerk zeigt an, wann die Zeit dazu gekommen ist. In Betreff anderer Abweichungen des veränderten Myographions von dem ursprünglichen sei auf die Beschreibungen der oben erwähnten Forscher verwiesen.

Das Myographion von Pflüger

möge an dieser Stelle Erwähnung finden, weil es nichts anderes ist, als ein Helmholtz'sches Myographion mit unbewegter Schreibfläche. Dasselbe dient nicht zur Aufzeichnung von Muskelcurven, sondern nur von Zuckungshöhen. Wenn es sich darum handelt, den Einfluss der Reizstärke oder der Belastungsgrösse oder der Ermüdung auf die Höhe der Muskelzuckung zu studiren, so kann es bequem sein, an Stelle einer vielen Raum einnehmenden und vielleicht wenig übersichtlichen Schaar von Zuckungscurven dicht nebeneinander eine Reihe einfacher Zuckungshöhen zu verzeichnen, deren Grössenverhältnis sich dadurch in sehr klarer Weise darstellt. Dazu ist das Myographion von Pflüger sehr geeignet. Dasselbe, in Fig. 229 in seiner ursprünglichen Gestalt nach der von seinem Erfinder mitgetheilten Abbildung wiedergegeben, besteht aus einer polirten, durch Russ zu schwärzenden Glasplatte *p*, vor welcher die Schreibspitze eines dem Helmholtz'schen Schreibwerk durchaus ähnlichen Zeichenapparates aufgestellt ist. Die durch einen Rahmen geführte Platte wird nach jeder Zuckung des Muskels mit der Hand oder, wie an den Apparaten neuerer Construction, vermittelst eines Triebes um kleine stets gleiche Strecken horizontal verschoben. Das Schreibwerk *sch* ist durch ein Laufgewicht *g* äquilibrirt. In die unter dem Muskelansatz am Schreibrahmen angehängte Wagschale *w* kann man Gewichte legen; die Belastung des Muskels kann dadurch von Null bis zu einer beliebigen Höhe gesteigert werden. Die Schreibspitze lässt sich, ähnlich wie bei Helmholtz, durch einen um einen Wirbel geschlungenen Faden von der Schreibfläche abheben oder mit gelinder Reibung an sie anlegen.

Der Muskel *m* befindet sich sammt seinem Nerven und den zur Zuführung des elektrischen Reizes dienenden Hilfsapparaten in einer entsprechend geräumigen feuchten Kammer *k*.[1])

Das Tischchen *t* ist nämlich mit einem Glassturz bedeckt, dessen Wände man theilweise mit nassem Filtrirpapier austapezirt. Das Präparat wird dadurch vor dem Vertrocknen bewahrt. Ein Schlitz im Tische erlaubt der Sehne des Muskels, resp. den Stücken, die sie mit dem Schreibhebel verbinden, sowie auch den Zuleitungsdrähten den Durchtritt. Das obere Ende des Muskels oder das an ihm belassene Knochenstück wird von einer Zange gehalten, die sich auf der Messingsäule *s* verstellen lässt.

---

[1]) Die Anbringung einer feuchten Kammer in der von Pflüger geübten Weise ist auch für andere myographische Apparate empfehlenswerth.

Fig. 230 gibt eine Aufzeichnung wieder, die mit Hilfe dieser Vorrichtung gewonnen ist.

Verbindet man die Endpunkte der in gleichen Abständen gezeichneten Maximalordinaten mit einander, so gewinnt man eine abgeleitete Curve, welche die (maximale) Zuckungsgrösse des Muskels als Function der Belastung darstellt.[1])

Die auf die Glasplatte gemachte Zeichnung kann in der früher (S. 39) beschriebenen Weise abgeklatscht oder auch photographirt werden.

Hermann hat der Glastafel eine dünne Messingplatte substituirt, auf die ein Streifen mit Russ zu schwärzenden Glanzpapiers gespannt wird. Die Aufzeichnungen lassen sich dann bequem abnehmen und aufbewahren.



Fig. 230.
Zuckungshöhen eines Muskels bei wachsender Belastung; auf die Platte des Pflüger'schen Myographions gezeichnet (nach Hermann)

Einige sehr zweckmässige Veränderungen sind auch von Funke angegeben worden. Die Platte hat bei seinem Apparat grössere Dimensionen und ist auch vertical verstellbar, so dass auf ihr mehrere Zuckungsreihen übereinander gezeichnet werden können.

II. Weitere Ausbildung der myographischen Registrirapparate. Pendel- und Federmyographion.

Nachdem einmal durch Helmholtz der Weg gewiesen war, auf welchem man zur graphischen Analyse der Muskelthätigkeit gelangen kann, hat man die Methode nach verschiedenen Richtungen vervollkommnet.

Die Verbesserungen betreffen zunächst den zur Aufnahme der Zeichnungen bestimmten Registrirapparat. Die wenig geräumige und unpracticable Glastrommel des Helmholtz'schen Myographions wurde bald durch andere Vorrichtungen ersetzt. Schon du Bois-Reymond hatte sie bei seinem Myographion vergrössert.

Gegenwärtig benutzt man, falls überhaupt auf einen Cylinder geschrieben werden soll, meistens die grossen, zu fast allen graphischen

[1]) Der Muskelhebel war in diesem Versuch unterstützt, so dass die Gewichte ihn erst dehnen konnten, wenn er in Thätigkeit versetzt wurde. Die Fusspunkte der Curven liegen deshalb alle auf einer horizontalen Geraden.

Darstellungen geeigneten Kymographiontrommeln, die man mit angerusstem Glanzpapier überzieht. Sie bieten den Vortheil, eine grosse Anzahl von myographischen Zeichnungen aufnehmen zu können, was in sehr vielen Fällen erwünscht oder sogar nothwendig ist. Unter Umständen kann es sogar zweckmässig sein, Cylinder von besonders grossen Dimensionen zu benutzen; so besitzt z. B. die von Fick bei seinen Untersuchungen verwendete Trommel einen Umfang von einem Meter. Bei gleicher Winkelgeschwindigkeit erzielt man mit einem so grossen Cylinder natürlich eine weit grössere Geschwindigkeit der bei der Schreibspitze vorüberziehenden Fläche, als bei Anwendung kleinerer Cylinder. Eine solche ist aber besonders bei myographischen Zeitmessungsversuchen, z. B. bei Bestimmung der Nervenleitungsgeschwindigkeit, geradezu geboten. Freilich muss man in solchen Fällen, um von der grossen Flächengeschwindigkeit Vortheil zu haben, auch die des Schreibhebels entsprechend vergrössern (s. sp.).

Die Kymographiontrommeln werden zumeist durch Uhrwerke bewegt. Bedient man sich der trefflich gearbeiteten Baltzar'schen oder Verdin'schen Apparate, so kann man sich, bei Innehaltung gewisser Vorsichtsmassregeln, auf die Gleichmässigkeit der Trommelbewegung verlassen. Will man ihre Geschwindigkeit feststellen, so wird man dazu in bekannter Weise eine registrirende Stimmgabel oder einen Chronograph benutzen. Liesse man einen solchen Zeitvermerker stets gleichzeitig mit dem Muskel auf den Cylinder schreiben, so wäre man von der Gleichmässigkeit der Umdrehung sogar gänzlich unabhängig. Man könnte dann, und dies geschieht in neuerer Zeit sehr häufig, von der Benutzung eines kostspieligen Uhrwerkes ganz absehen und den Cylinder durch irgend eine beliebige zu Gebote stehende Kraft treiben lassen. In solchen Fällen wird es oft am bequemsten sein, ihn einfach mit der Hand zu drehen. Manche benutzen elastische Kräfte, Andere die Schwere eines fallenden Gewichtes.

Man wird indessen den Umstand im Auge zu behalten haben, dass die aufgeschriebene Muskelcurve ein unmittelbar anschauliches Bild des Zuckungsvorganges nur dann wird geben können, wenn während desselben die Umdrehungsgeschwindigkeit des Registrircylinders sich nicht merklich geändert hat, wenn also gleichen Zeitwerthen gleich grosse Abscissen entsprechen. Ist das nicht der Fall, so erscheint die Curve verzerrt. Dies wäre nun freilich kein Schaden, wenn es sich lediglich um Zeitbestimmungen handelte; denn sie könnten an solchen Curven ebenso genau aus-

geführt werden, wie an unverzerrten. Es gibt aber auch Fälle genug, in denen es im Interesse der Uebersichtlichkeit und der Vergleichbarkeit grösserer Curvenreihen sehr wünschenswerth wird, nicht nur durch passende Einrichtung des Schreibapparates, sondern auch durch gleichmässige Fortbewegung der Registrirfläche Aufzeichnungen zu ermöglichen, die eine unmittelbar verständliche Anschauung des Ablaufes der Muskelcontraction vermitteln. Hier wird man gleichmässig wirkender Bewegungsmechanismen nicht entrathen können.

Natürlich ist man aber hierbei nicht auf die Anwendung von Uhrwerken beschränkt. Bei dem grossen Myographioncylinder von Fick tritt an die Stelle eines Uhrwerkes ein fallendes Gewicht. Ist dasselbe durch eine gewisse Strecke gesunken, so wird es durch eine einfache Vorrichtung abgefangen. Der schwere Cylinder setzt jetzt seine Umdrehungen mit der erlangten Geschwindigkeit selbständig fort, und innerhalb der für die myographische Aufzeichnung in Betracht kommenden Zeit kann diese Geschwindigkeit als constant angesehen werden. Man kann es leicht einrichten, dass man in wiederholten Versuchen stets dieselbe Endgeschwindigkeit des Cylinders erhält. Es muss nur jedesmal dasselbe Gewicht angehängt und in derselben Höhe abgefangen werden.

Kronecker bedient sich bei seinem Elektromyographion der Elektricität zur Bewegung des Cylinders. Die Umdrehungsgeschwindigkeit wird hier durch eine stromunterbrechende Vorrichtung, ähnlich wie beim phonischen Rad von La Cour, genau regulirt; je nach der angewendeten Unterbrechungsfrequenz kann man sie vergrössern oder verringern.

In vielen Fällen hat man den Registrircylinder gänzlich verworfen. So haben sich Manche, zuerst Valentin, kreisförmiger Glasscheiben bedient, die mit Russ überzogen und in Rotation versetzt wurden. Ein weitere Ausbildung erfuhr diese Vorrichtung in dem neuerdings von Rosenthal benutzten Kreiselmyographion, bei welchem die Drehung der grossen Registrirscheibe durch den Fall eines Gewichtes bewirkt wird. Die Curve verzeichnet sich hier natürlich über einer bogenförmigen Abscissenaxe und die Ordinaten sind Stücke oder Fortsetzungen der zu diesem Bogen zugehörigen Radien.

Die einfachste Schreibfläche ist eine viereckige Glastafel, der man eine passende Fassung gibt und die man, nachdem sie mit Russ geschwärzt ist, durch ein beliebiges Mittel in Bewegung versetzt. Harless ertheilte seiner Schreibplatte eine gleichmässige Geschwin-

digkeit dadurch, dass er sie nach dem Princip der Atwood'schen Fallmaschine geradlinig bewegte. Fick befestigt eine Glastafel am Ende eines grossen schweren Pendels; du Bois-Reymond lässt sie durch die Entspannung einer Sprungfeder an der Schreibspitze vorbeischiessen. Brücke verschiebt die Platte seines Myographions einfach mit der Hand. Im Königsberger physiologischen Institut befindet sich eine ältere Vorrichtung, bei welcher der Fall eines plötzlich freigegebenen Gewichtes die zwischen Schienen gehende Glastafel in Bewegung setzt.

Von allen den zahlreichen in Vorschlag gebrachten myographischen Registrirapparaten mögen hier zunächst zwei genauer beschrieben werden, die dank ihren Vorzügen eine sehr allgemeine Verbreitung gefunden haben; der eine ein vorzügliches Präcisionsinstrument, wenn es gilt, feinere Zeitbestimmungen, insbesondere Messungen der Latenzzeit und der Fortpflanzung der Erregung im Nerven vorzunehmen; der andere ein nicht nur für eben solche Untersuchungen empfehlenswerther, sondern zugleich durch seine Einfachheit und Handlichkeit besonders zu Demonstrations- und Schulzwecken geeigneter Apparat.

Das Pendelmyographion.

Dasselbe ist von Fick angegeben worden; später hat es Wundt in modificirter Gestalt benutzt. Seitdem durch Helmholtz einige wesentliche Verbesserungen an ihm angebracht worden, hat es Eingang in zahlreiche physiologische Laboratorien gefunden.

Fig. 231 gibt eine schematische Darstellung dieses werthvollen Apparates. Ein schweres, etwa 1 *m* langes Pendel ist mit sehr geringer Reibung in einem durch Frictionsrollen gebildeten Axenlager *a* beweglich. An seinem unteren Ende trägt es eine mit Russ zu schwärzende polirte Glasplatte *p*. Unter derselben befinden sich zwei Daumen *d* und d^1, die durch die auf dem Grundbrett seitlich angebrachten federnden Schnepper *s* und s^1 eingefangen werden können. Ist, wie in der Abbildung, das Pendel so weit nach rechts bewegt, dass der Schnepper s^1 den Daumen d^1 erfasst, so muss das Pendel in dieser Lage verharren, bis man vermittelst eines in der Figur fortgelassenen Fadens den Schnepper nach unten zieht. Geschieht dies, so macht das Pendel eine Schwingung nach links, um am Ende der Bahn durch den Schnepper *s* wieder eingefangen zu werden.

Während des Ablaufs einer solchen Schwingung soll der Muskel auf die Zeichenplatte *p* seine Zuckung aufzeichnen. Er muss zu diesem Zwecke mit einem Schreibapparat in Verbindung gesetzt sein,

dessen Zeichenspitze die Platte berührt, und muss im geeigneten Moment den Reiz empfangen.

Die Reizertheilung geschieht in bekannter Weise. Die schwingende Platte oder vielmehr der Daumen *d* öffnet bei Erreichung einer bestimmten Stellung den Reizcontact *ko*. Dieser Contact, dessen nähere Beschaffenheit aus der Abbildung deutlich wird, ist verstellbar, so dass man nach Belieben den Muskel beim Durchgang des Pendels durch die Gleichgewichtslage oder früher oder später reizen kann. Den Reizmoment markirt man nach der schon beschriebenen Methode vor oder nach dem eigentlichen Versuch, indem man das Pendel langsam mit der Hand über die Contactstelle hinweggeführt und den Muskel dabei den Signalstrich aufschreiben lässt.

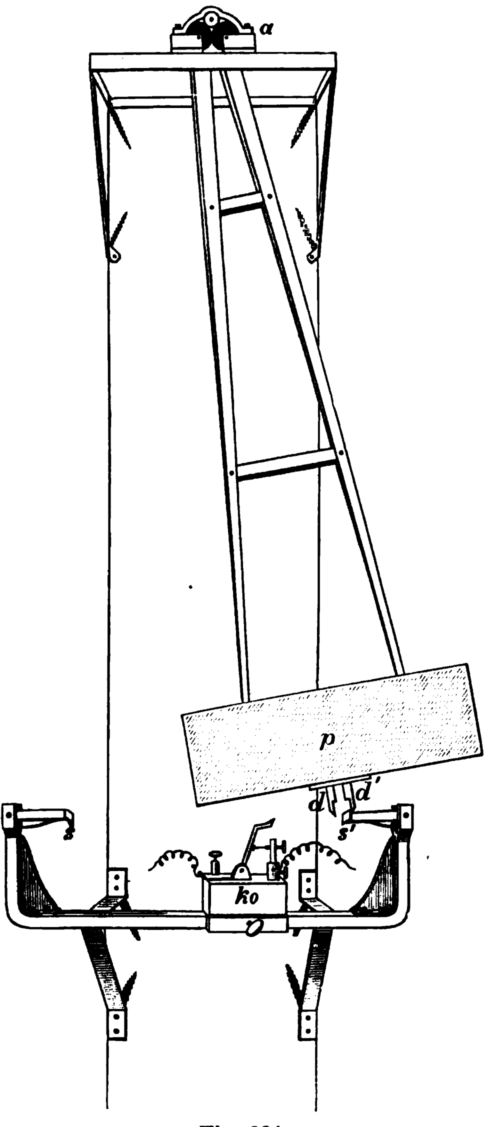


Fig. 231.
Das Fick'sche Pendelmyographion. ($^1/_{10}$ nat. Gr.)

Ist die Zuckung verzeichnet, so stellt man die Schreibspitze ab und führt das Pendel in seine Anfangsstellung zurück. Damit mehrere Zuckungscurven auf dieselbe Platte gezeichnet werden können, lässt sich dieselbe vertical verstellen, so dass sie nach jedem Versuch um ein Stückchen gehoben werden kann. Zur Ausgleichung der dadurch entstehenden Schwerpunktsverschiebung hat Helmholtz auf der Rückseite des Pendels eine Compensationsplatte anbringen

lassen, die ebenso schwer ist, wie die Schreibplatte, und die, wenn diese gehoben wird, sich in demselben Maasse senkt. Das ist durch die in Fig. 232 (nach Hermann) im Durchschnitt skizzirte Einrichtung erreicht.

Die Platten, die Schreibplatte p und die äquilibrirende Platte p^1, sind nämlich mit ihren Fassungen an Schlitten befestigt, die in Führungen gleiten. Zwei Zahnräder r und r^1, durch deren Drehung die Schlitten sich verschieben, greifen so ineinander, dass, wenn der eine Schlitten und mit ihm seine Glasplatte nach unten bewegt wird, der andere um ein ebenso grosses Stück nach oben geht, und umgekehrt. Die Verstellung geschieht durch den an dem einen Zahnrad angebrachten Griff.

Das hier dargestellte Pendel muss mit seinem Grundbrett an einer Wand befestigt werden. Der viel kleinere Apparat, den Wundt benutzt hat, ist transportabel.

Fig. 232.
Das Plattenpaar des Pendelmyographions. (1/7 nat. Gr.)

Fig. 233 gibt eine auf die Platte des Pendelmyographions aufgezeichnete Zuckungscurve wieder. Unter derselben sind die Schwingungen einer chronoskopischen Stimmgabel (*st*) verzeichnet; *r* bedeutet den Moment der Reizung.

Es ist klar, dass die Abscissenaxe einer solchen Curve keine gerade Linie sein kann, sondern vielmehr ein Bogen sein muss, der die

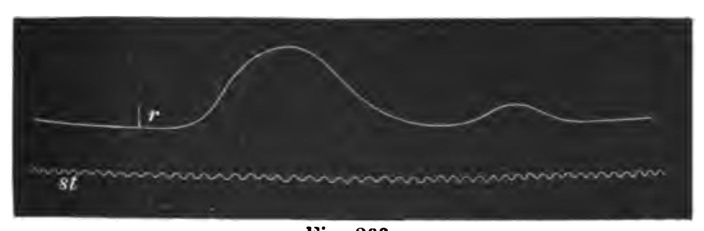


Fig. 233.
Zuckungscurve eines Muskels, auf die Platte des Pendelmyographions gezeichnet.

Pendellänge zum Radius hat. Ist wie hier das Pendel lang, so ist die Krümmung nicht besonders gross; bei kurzen Pendeln wird sie dagegen sehr merklich.

Die Pendelbewegung erfolgt bekanntlich anfangs mit zunehmender, später mit abnehmender Geschwindigkeit. Die Stimmgabelcurve in Fig. 233 lässt das deutlich erkennen, denn ihre einzelnen Zacken sind am Anfang und am Ende einander näher als in der Mitte. Für die Zeitmessung hat natürlich die Ungleichmässigkeit des Ganges der Schreibplatte keinerlei Nachtheil. Da die Bewegung eines Pendels eine

ganz genau berechenbare Geschwindigkeit besitzt, so könnte man die zu messenden Zeiten hier sogar durch Rechnung finden. Die weit bequemere Benutzung eines Stimmgabelchronogrammes macht dieses Verfahren überflüssig. Man zählt hier nur die Anzahl der Zacken aus, die der auszuwerthenden Strecke entsprechen, und dividirt sie durch die Schwingungszahl der Stimmgabel.

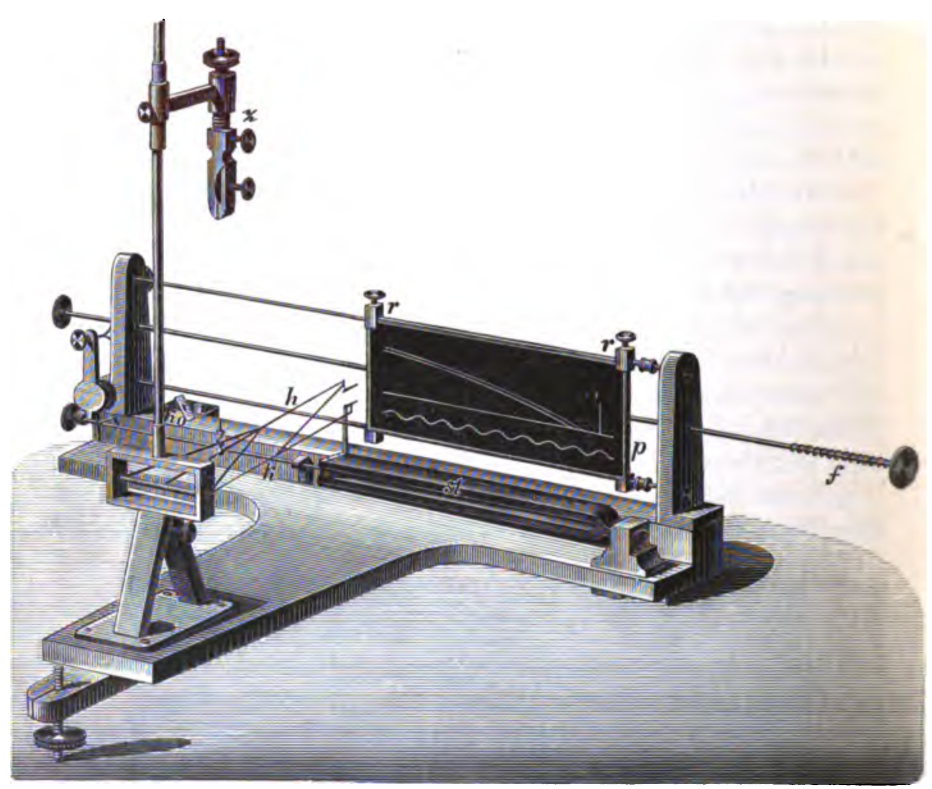


Fig. 234.
Das Federmyographion von du Bois-Reymond (nach J. Munk)

Die Muskelcurve wird natürlich durch den doppelten Einfluss der ungleichförmigen Bewegung und der nicht geradlinigen Verschiebung der Schreibplatte für die unmittelbare Anschauung entstellt. Man kann aber von einer Vorrichtung, die doch vor Allem zur Anstellung von Zeitmessungsversuchen bestimmt ist, nicht verlangen, dass sie zugleich auch ein ohne Weiteres begreifliches Bild des Zuckungsverlaufes liefere.

Das Federmyographion.

Du Bois-Reymond hat in seinem Federmyographion die Fortbewegung der Schreibplatte in noch viel einfacherer Weise bewirkt. Sie wird nämlich hier an der Zeichenspitze gewissermaassen vorbeigeschossen. Eine zusammengedrückte Spiralfeder liefert ähnlich, wie beim Kindergewehr, durch ihre Wiederausdehnung die nöthige Kraft.

In Fig. 234 ist dieser Apparat in einer neueren Construction vorgeführt.

Auf einer schweren Grundplatte erheben sich zwei kräftige Ständer. Zwischen diesen sind zwei einander parallele Stahldrähte ausgespannt, die einem die polirte Glasplatte *p* tragenden viereckigen Rahmen zur Führung dienen.

Auf die kurzen Seiten des Rahmens sind zwei Stahlstäbe aufgesetzt, die mit geringer Reibung durch Löcher in den Ständern hindurch gehen. Ueber das Ende des einen von ihnen ist die Sprungfeder *f* gezogen. Schiebt man mit Hilfe dieses Stabes die Platte möglichst weit nach links, so wird die Feder zusammengedrückt. Am linken Ständer befindet sich eine Fangvorrichtung, welche die in ihr Bereich gelangte Platte festhält. Die Feder bleibt also gespannt, bis man die Fangvorrichtung auslöst. So wie dies geschieht, schnellt die Platte, von der nunmehr befreiten Federkraft getrieben, die führenden Drähte entlang zum rechtsseitigen Ständer. Die Geschwindigkeit, die anfänglich eine beschleunigte, später eine abnehmende ist, hängt natürlich ausser von der Reibung und von der Masse des bewegten Systems, von der Kraft der benutzten Feder ab. Indem man Federn von verschiedener Stärke einsetzt, vermag man deshalb die Geschwindigkeit zu verändern. Du Bois-Reymond benutzte an seinem ursprünglichen Apparat drei Federn, denen Maximalgeschwindigkeiten von 1088, 1536 und 2522 *mm p. Sec.* entsprachen. Zur Dämpfung der Endgeschwindigkeit der losgeschnellten Platte sind auf den Führungsdrähten Bremskorke angebracht, deren Widerstand die Kraft der Platte bedeutend mildert. Am Rahmen befindet sich ein Daumen, der die Aufgabe hat, beim Vorbeigang der Platte einen Contact *ko* aufzuheben und dadurch den Reiz (Inductionsschlag) auszulösen.

In der Abbildung ist die Platte dargestellt mit der Zeichnung, die ein Versuch über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Nerven geliefert hatte. Anfänglich war der Reizungsmoment in bekannter Weise markirt worden. Dann erfolgte in zwei aufeinanderfolgenden Versuchen bei vorbeigeschossener Platte

die Reizung des Nerven, das eine Mal an einer dem Muskel näheren, dann an einer entfernteren Stelle. Der horizontale Abstand der Curven von einander entspricht dem Zeitverlust beim Durchgang der Erregung durch das zwischen den beiden Reizungsstellen gelegene Stück des Nerven, die Entfernung des Signals vom Fusspunkt der ersten Curve der Latenzzeit.

Man sieht, dass die Muskelcurven nicht in ihrer ganzen Ausdehnung auf der Platte Platz gefunden haben. Die Geschwindigkeit derselben war eben eine sehr grosse. Da es für die gewünschte Messung nur auf die Anfänge der Curven ankommt, ist dies weiter kein Nachtheil. Will man die vollständige Curve auf der Tafel haben, so muss man eine schwächere Feder benutzen.

Der Schreibapparat des Federmyographions (*h* in Fig. 234) ist dem von Helmholtz nachgebildet; doch stellt man jetzt zweckmässiger Weise das Hebelwerk aus leichtem Material her. An die Stelle des die Schreibspitze gegen die berusste Fläche drückenden Gewichtes ist hier, wie schon bei den späteren Helmholtz'schen Apparaten, eine Feder getreten.

Die Vergrösserung ist eine viel stärkere, als wie sie es beim Helmholtz'schen Myographion war. Du Bois-Reymond hat nämlich bewiesen, dass eine so grosse Geschwindigkeit der Schreibfläche, wie sie sein Apparat liefert, und die ja in die Augen springende Vortheile für die Ausmessung kleinerer Zeittheilchen haben muss, in Wahrheit nur dann von Nutzen wird, wenn ihr eine grosse Geschwindigkeit des Zeichenhebels entspricht. Eine solche ist aber nur dadurch zu erzielen, dass man die durch den Hebel bewirkte Vergrösserung erhöht.

Auf dem die Schreibvorrichtung tragenden Theil des Apparates erhebt sich eine Säule, die eine zur Befestigung des oberen Muskelendes dienende Klemme (Muskelzange) trägt *(z)*. Diese von du Bois-Reymond auch an anderen von ihm construirten Apparaten angebrachte Zange ist für myographische Versuche aller Art ausserordentlich zweckmässig. Sie erlaubt nicht nur eine grobe, sondern auch eine mikrometrische Senkung und Hebung des Muskels, sowie die Befestigung des einen der reizzuführenden Drähte.

Endlich ist mit den Apparaten neuerer Construction nach dem Vorgang von Schwann eine chronographische Stimmgabel (*st*) fest verbunden. Durch Herausziehen eines in Führungen gehenden Stabes, der an seinem Ende ein zwischen die Zinken der Gabel eingeklemmtes Klötzchen trägt, kann man fast in demselben Moment, in welchem man die Zeichenplatte ihren Lauf beginnen lässt, die Stimmgabel in

Schwingung versetzen. Eine an ihr angebrachte, genau unter der des Muskelhebels stehende Schreibspitze schreibt diese Schwingungen auf.

Beide Spitzen lassen sich durch Vermittelung eines über einen drehbaren Wirbel gewundenen Fadens von der Schreibfläche abziehen. Man legt sie erst dann der Platte an, wenn diese schussfertig zum linken Ständer vorgeschoben ist. Will man nach geschehener Aufzeichnung die Platte wieder in diese Stellung zurückbringen, so muss man die Spitzen abziehen, um ein unnöthiges oder sogar schädliches Zeichnen derselben zu vermeiden.

III. Ausbildung der myographischen Schreibtechnik.

1. Vermeidung träger Massen. Aufzeichnung isotonischer Muskelzuckungen.

Es ist klar, dass, wenn der Muskel an einem so schweren Schreibgehänge befestigt ist, wie es das Helmholtz'sche anfänglich war, auf eine treue Veranschaulichung des Zuckungsvorganges durch die Curve nicht gerechnet werden kann. Denn bei der Zusammenziehung des Muskels wird hier eine grosse Masse plötzlich und beträchtlich bewegt. Eine solche Masse wird einem Ausstoss nur zögernd folgen; einmal in Bewegung gesetzt, wird sie aber vermöge ihrer Trägheit leicht in freien Schwung gerathen; sie wird dabei Höhen erreichen können, bis zu denen die Muskelzusammenziehung sie gar nicht heben würde. Bei der Wiederausdehnung des Muskels wird diese Masse, aus ihrer Höhe herabfallend, den Muskel über die ihm zukommende Länge dehnen und zu elastischen Schwingungen veranlassen. Der an der Schreibvorrichtung angebrachte Zeichenstift wird demgemäss eine Curve verzeichnen, die dem wahren Verlauf einer einfachen Muskelzuckung nur wenig entspricht. Je grösser die in Bewegung gesetzte Schwungmasse ist, je grösser die Geschwindigkeit, die ihr ertheilt wird, desto mehr muss sich die gezeichnete Curve von der wahren entfernen. Der Fehler wird also wachsen, wenn man, wie z. B. beim Pflüger'schen Myographion, die Masse des metallenen Schreibwerkes durch ein Gegengewicht äquilibrirt, oder wenn man, wie dies oft geschieht, unter dem Ansatzpunkte des Muskels am Schreibhebel ein ihn spannendes Gewicht anbringt.

Schon bei der Anstellung von Zeitmessungsversuchen, für welche die Mehrzahl der bisher erwähnten Apparate ja bestimmt ist, kann der aus der Trägheit der grossen Hebelmasse entstehende Fehler unter Umständen sehr störend werden. Höchst bedenklich wird er aber,

wenn man aus der aufgeschriebenen Zuckungscurve die wahre Verkürzungsgrösse ersehen, wenn man die vom Muskel bei seiner Zusammenziehung geleistete Arbeit messen will.

Um in solchen Fällen ein Schleudern des Hebels so weit als möglich zu vermeiden, muss man vor allen Dingen ihm und seinen Annexen eine möglichst geringe Masse geben und zugleich dafür Sorge tragen, dass, wo grössere Lasten unvermeidlich sind, diese keine grosse Beschleunigung erfahren. Man wird deshalb den Schreibhebel aus einem möglichst leichten Material anfertigen, also steife Schilfhebel, wie sie Fick empfiehlt, Hebel, die aus Strohhalmen oder dünnen Holzlamellen geschnitten sind, besonders bevorzugen.

Ein myographischer Schreibapparat soll aber so eingerichtet sein, dass man dem Muskel eine Spannung von beliebigem Werthe ertheilen kann. Von dieser Spannung wird man verlangen können, dass sie in allen Stadien der Muskelzuckung dieselbe Grösse habe, so dass, wie Fick es genannt hat, die Zuckung eine isotonische wird. In der Regel benutzt man zur Spannung des Muskels Gewichte, deren Hebung das sich verkürzende Organ zu besorgen hat. Nun haben wir gesehen, dass grosse Massen, plötzlich in stärkere Bewegung versetzt, ihren eigenen Weg gehen; der sich verkürzende Muskel wird also durch ein an ihn gehängtes schleuderndes Gewicht während gewisser Zeiträume vielleicht gar nicht gespannt sein. Zu dem Fehler, der daraus entspringt, dass in Folge der Eigenschwingungen des mit dem Gewicht beschwerten Hebels die Aufzeichnung gefälscht wird, würde sich als zweiter die Ungleichmässigkeit der Spannung des seine Zuckung ausführenden Muskels gesellen. Starke Gewichtsbelastungen wären also ausgeschlossen, falls man nicht dafür sorgen könnte, sie so anzubringen, dass sie eine nur unbedeutende Beschleunigung erfahren.

Allen Forderungen ist Rechnung getragen, wenn man, wie es zuerst Marey und Fick gethan haben, das spannende Gewicht möglichst nahe an der Hebelaxe oder sogar an der Drehungsaxe selbst anbringt. Schlingt man z. B. um diese einen Faden, an den man ein zur Aufnahme von Gewichten bestimmtes Schälchen hängt, so wird selbst bei den grössten Ausschlägen der Schreibhebelspitze das Gewicht nur um sehr kleine Werthe gehoben, erreicht also nur eine ganz geringe Geschwindigkeit.

So klein man auch die Masse des eigentlichen Hebels gemacht hat, so ist doch auch ihre Trägheit nicht ganz verschwindend. Den daraus entstehenden Fehler wird man auf das geringste Maass dadurch beschränken können, dass man die Grösse der Hebelausschläge möglichst

einschränkt. Freilich kann man auf eine Vergrösserung der Zuckungshöhen des Muskels durch den Schreibhebel in der Regel nicht ganz verzichten; in denjenigen Fällen aber, in denen es auf die Darstellung isotonischer Curven ankommt, wird man, wo es angeht, möglichst lange Muskeln verwenden, die grosse Zuckungshöhen geben, und sich auf geringe Vergrösserungen, z. B. 2 bis 3 : 1, beschränken. Den Muskel würde man demgemäss etwa in der Mitte des Schreibhebels oder nur wenig näher der Axe angreifen lassen.

Eine Anordnung, wie sie der in Fig. 235 skizzirte, nach den von Fick entwickelten Grundsätzen construirte Schreibapparat darstellt, ist für Versuche dieser Art geeignet.

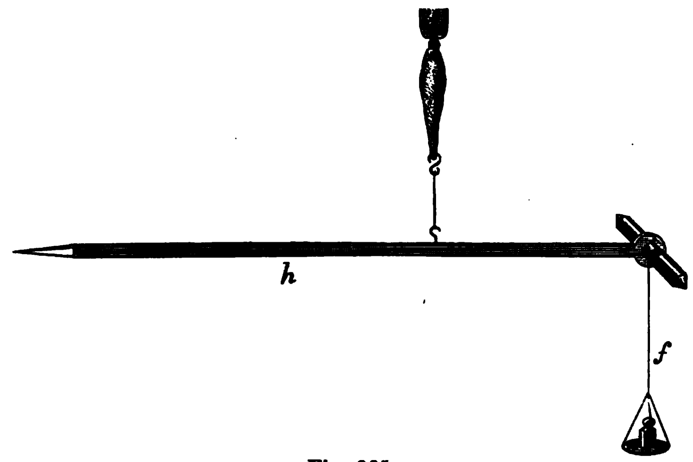


Fig. 235.
Muskelhebel zur Aufzeichnung isotonischer Zuckungen.

Der sehr leichte, aus Schilf verfertigte Hebel *h* ist mit einer stählernen Axe versehen, die „in Spitzen" und daher fast ohne Reibung in ihrem Lager sich dreht. Um die Axe ist ein Faden *f* geschlungen, an den das spannende Gewicht gehängt ist. Es ist klar, dass dieses Gewicht nicht mit seiner vollen Grösse den mit dem Hebel verbundenen Muskel belastet, sondern ihn nur um einen Betrag spannt, der aus der Entfernung des Muskelansatzes von der Axe sich berechnen lässt. Dabei ist natürlich auch die Grösse desjenigen Hebelarmes in Betracht zu ziehen, an welchem das Gewicht wirkt. Ist, wie hier, der Gewichtsfaden direct um die Axe geschlungen, so wirkt die Last an einem Hebelarm, der gleich ist dem halben Durchmesser der Axe. In anderen Fällen ist auf die Axe ein kleines Röllchen gekeilt, um das man den Faden schlingt; dann ist der Hebelarm der Last gleich dem Radius dieses Röllchens.

Ist der Hebel *h* (in Fig. 235) 150 *mm* lang, und ist der Muskel an ihm 50 *mm* entfernt von der Axe befestigt, ist ferner ein Gewicht von 300 *grm* an der 4 *mm* dicken Axe befestigt, so ist der Muskel gespannt durch eine Gewichtslast von $\frac{2.300}{50} = 12$ *grm* und die Hebelvergrösserung ist hier eine dreimalige.

Fig. 236 (nach Fick) gibt eine, mit Hilfe einer ähnlichen Vorrichtung gezeichnete isotonische Zuckungscurve wieder. Was bei ihr im Gegensatz zu den mit schweren Hebeln geschriebenen Curven besonders auffällt, das ist ihr geradliniger, steiler Anstieg. Derselbe legt Zeugnis ab für die geringe Trägheit des Schreibapparates. Sind erhebliche träge Massen vorhanden, so löst sich, wie wir gesehen haben, die Curve weit allmäliger und zögernder von der Ruhelinie los. Ein Muskel, der gleichmässig gespannt ist, und dessen Zuckungsverlauf nicht durch die Trägheit grösserer Lasten beeinträchtigt wird, verkürzt sich also mit einer im Anfang durchaus gleichförmigen Geschwindigkeit.

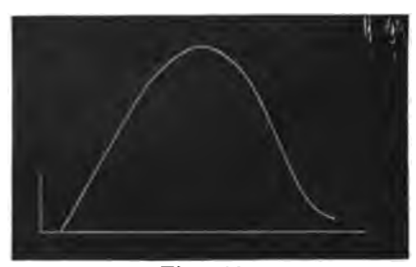


Fig. 236.
Isotonische Muskelzuckung. 1 *mm* Abscisse = 1/350 Sec.

2. Der Gewichtsmyograph von Marey.

Dieselben Principien wie Fick hatte bereits vor ihm Marey zum Ausdruck gebracht und in der zweiten Form seines „Myographe simple“ praktisch verwerthet. Wir wollen diese Vorrichtung zum Unterschied von dem später zu erwähnenden Federmyographen desselben Forschers als Gewichtsmyographen bezeichnen.

Fig. 237 gibt diesen Schreibapparat nach der von Marey selbst mitgetheilten Abbildung wieder.

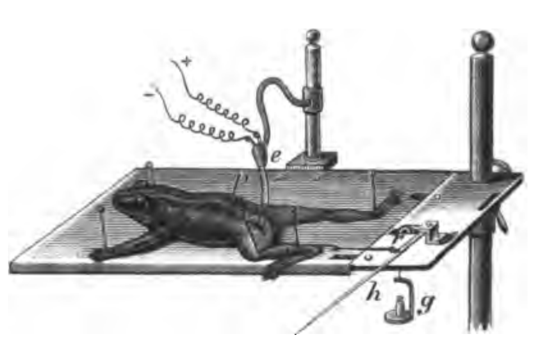


Fig. 237.
Gewichtsmyograph von Marey.

Der Frosch, dessen Muskel hier möglichst unter seinen normalen Lebensbedingungen untersucht werden soll, ist nach Zerstörung seines Centralnervensystems in horizontaler

Lage auf einem mit einer Korkplatte bedeckten Tischchen *p* durch Nadeln befestigt. Die Sehne des Wadenmuskels ist freigelegt, durchschnitten und durch einen feinen Draht oder Seidenfaden mit dem Schreibhebel *h* in Verbindung gesetzt. Dieser ist sehr leicht, und in seinem Axenlager in Spitzen drehbar. Das belastende Gewicht (*g*) ist nahe dem Drehpunkt des Hebels an einer auf der Axe befindlichen Kehle angebracht; der dasselbe tragende Faden geht über eine kleine leicht bewegliche Rolle (*r*). Ein an biegsamem Bleidraht befestigtes Elektrodenpaar erlaubt die Zuführung des elektrischen Reizes zum Schenkelnerven.

Natürlich muss man, um die volle Verkürzung des Muskels zum Ausdruck zu bringen, den Muskel senkrecht am Hebel angreifen lassen. Dies wird dadurch ermöglicht, dass das zur Befestigung der Sehne bestimmte Häkchen auf dem Hebel verschiebbar ist.

Da der Hebel sich in horizontaler Ebene bewegt, muss auch die seine Zeichnung aufnehmende Fläche horizontal liegen. Marey bedient sich dazu seines vortrefflichen, mit dem Foucault'schen Regulator ausgestatteten Cylinders, den er mit einer elektrischen Unterbrechungsvorrichtung derartig versehen hat, dass der Nerv bei jeder Umdrehung einen Einzelreiz empfängt. Die zum Cylinder leicht abgebogene Schreibspitze kann durch besondere Stellvorrichtungen von der Zeichenfläche abgehoben oder sanft an sie angelegt werden.

Um zahlreiche Aufzeichnungen hintereinander zu erhalten, ertheilt Marey nach demselben Verfahren, das auch schon von v. Wittich angewendet worden ist, dem die Schreibvorrichtung tragenden Stativ eine langsame, der Trommelaxe parallele Bewegung. Der dazu dienende Apparat ist schon oben beschrieben und in Fig. 18 dargestellt worden. Indem die Schreibspitze den bewegten Cylinder entlang gleitet, schreibt sie eine Spirallinie auf denselben auf. Ist nun am Cylinder selbst oder an einer auf seiner Axe befestigten Scheibe die erwähnte Vorrichtung angebracht, durch die bei jeder Umdrehung je einmal, und zwar jedes Mal bei derselben Trommelstellung, dem Muskel ein elektrischer Schlag zugeführt wird, so erhält man eine Schaar von einander nahezu parallel verlaufenden, genau übereinander stehenden Curven.

Marey hat diese Anordnung als imbrication verticale bezeichnet; er theilt so gewonnene Aufzeichnungen mit, die von tadelloser Schönheit sind. Es ist klar, dass man vermöge einer derartigen Darstellung ein sehr übersichtliches Bild von dem Einfluss gewisser Bedingungen (z. B. der Ermüdung) auf die Gestalt der Zuckungscurve wird erhalten können. Die in Fig. 238 wiedergegebene, aller-

dings nur kleine Curvenschaar, welche auf ähnliche Weise gewonnen ist, möge zur Erläuterung dieser Aufzeichnungsweise dienen.

Könnte man die Contactvorrichtung an der Trommel so einrichten, dass der Muskel den zweiten Reiz nicht bei derselben Cylinderstellung empfinge, wie den ersten, sondern bei einer etwas späteren, den dritten um ebenso viel später, als den zweiten u. s. w., so würde, wie leicht ersichtlich, ein unbeweglich neben dem Cylinder stehender Schreibapparat eine Curvenreihe verzeichnen müssen, deren einzelne Glieder quer zu einander verschoben wären („imbrication latérale"). Marey erreicht dies dadurch, dass er die Unterbrechungsvorrichtung des Reizcontactes nicht, wie es sonst wohl üblich ist, auf einer der Trommelaxe aufgesetzten Scheibe anbringt, sondern auf einer etwas grösseren Scheibe, die mit der ersteren durch einen Schnurlauf verbunden wird. Hat der Cylinder einen Umgang gemacht, so ist der der Reizscheibe noch nicht ganz vollendet; der Reiz verspätet sich also jedesmal um denselben Zeitwerth. Auch dieses Verfahren gibt gute Uebersichtsbilder.

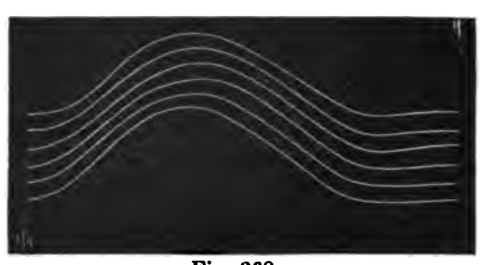


Fig. 238.
Muskelcurven in verticaler Anordnung.

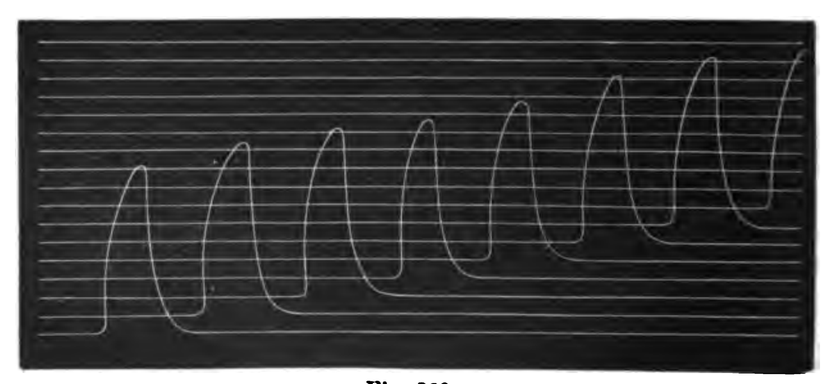


Fig. 239.
Muskelcurven (kurze Tetani) in schräger Anordnung.

Noch brauchbarer wird es aber, wenn man ausser der Reizverschiebung zugleich die Schreibwerkbewegung in Gang setzt. Die Zuckungscurven werden dann über und zugleich nebeneinander aufgezeichnet; sie erscheinen also schräg gegen einander verschoben.

Man gewinnt dadurch ein ungemein klares Bild von den Veränderungen, welche die Muskelthätigkeit während des Versuches erfährt.

Fig. 239 gibt eine nach diesem Princip („imbrication oblique") erhaltene Aufzeichnung wieder, die einer Mittheilung von Rollett entnommen ist. Es handelte sich hierbei allerdings nicht um Muskelzuckungen, sondern um kurze Tetani, die von den am Marey'schen Apparat arbeitenden Beugemuskeln eines Käfers ausgeführt wurden.

Der Schreibapparat von Marey ist, wie man sieht, zunächst zum Gebrauch an Fröschen eingerichtet, denen man nur das Centralnervensystem zerstört hat. Durch besondere Fixationsvorrichtungen muss man dabei für vollkommene Feststellung des Kniegelenkes Sorge tragen. Man kann indess das Instrument auch ohne Schwierigkeit zur Untersuchung isolirter Muskeln verwenden. Dem Muskelhebel gegenüber hat man dann eine verstellbare Klemme anzubringen, die das obere Muskelende oder das an ihm haftende Knochenstück fixirt.

Eine sehr zweckmässige Modification hat Rollett an dem Marey'schen Myographen angebracht. Er zerlegt nämlich die Grundplatte in zwei Theile, die mittelst Schlittenführung in einander gefügt werden. Der eine Theil ist zur Aufnahme des Axenlagers und des Gewichtsröllchens bestimmt. Der andere kann durch eine mikrometrische Vorrichtung gegen den ersten verstellt werden; er trägt die Korkplatte, auf der das Präparat befestigt wird. Durch diese Zerlegung wird es leicht, den Schreibhebel jedesmal in seine Ruhelage d. h. so einzustellen, dass er während der Muskelruhe genau senkrecht zur Trommelaxe steht.

3. Elastische Muskelhebel.

In noch vollkommenerer Weise, als auf dem im vorigen Paragraph geschilderten Wege, könnten die durch die Trägheit der bewegten Massen verursachten Fehler der myographischen Schreibung vermieden werden, wenn man nicht allein sehr leichte Schreibhebel benützte, sondern auch zur Spannung des Muskels von der Anwendung grösserer Gewichte gänzlich absehen könnte.

Marey hat dies dadurch erreicht, dass er die Kraft einer Feder zur Spannung des Muskels benutzte. Fig. 240 erläutert das von ihm eingeschlagene Verfahren. Der leichte Hebel *h* schreibt wieder in wagerechter Lage auf die horizontale Trommel. Über seine Drehaxe hinaus setzt er sich fort in die aus einem Stahlstreifen bestehende Schwanzfeder *f*, die gegen einen Anschlag *a* sich lehnt. Der Muskel greift bei *m* an einem Häk-

chen an, welches sich auf dem Hebel verschieben lässt, so dass dadurch die Vergrösserung der Zeichnung ganz nach Wunsch geregelt werden kann. Zieht sich der Muskel zusammen, so hat er den Widerstand der Feder zu überwinden; die Federkraft wirkt ihm hier also ebenso entgegen, wie die Schwere des belastenden Gewichtes bei den früher erwähnten myographischen Apparaten. Eine Vorrichtung, welche die Anfangsspannung der Feder und damit die Grösse der Gegenkraft zu verändern erlaubt, ist in der Abbildung fortgelassen.

Ohne Zweifel ist hier die Trägheit der Massen auf ein Minimum reducirt. Leider aber können Zuckungscurven, die mit diesem sonst vorzüglichen Instrumente gewonnen sind, nicht als isotonische gelten.

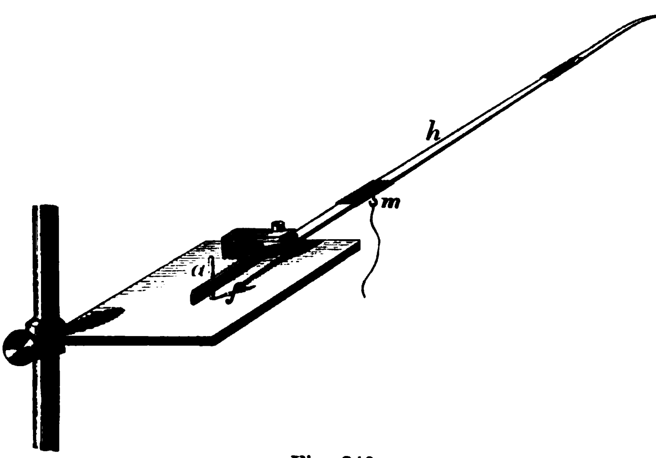


Fig. 240.
Federmyograph von Marey.

Denn es ist leicht ersichtlich, dass, da die Federspannung mit zunehmender Verkürzung des Muskels sich steigert, auf diesen spannende Kräfte von wachsender Grösse einwirken müssen.

Will man mit Hilfe elastischer Myographenhebel einen isotonischen Zuckungsverlauf erhalten, so muss man besondere Wege einschlagen. Eine sinnreiche Vorrichtung, welche dies leistet, hat Grützner angegeben.

Der Muskel, welcher an dem im Axenlager *a* (Fig. 241) beweglichen Schreibhebel *h* zu ziehen hat, dehnt hier bei seiner Zusammenziehung das unter seinem Ansatz am Hebel angreifende Kautschukband *f* [1]), welches in schräger Richtung nach der fest in ihrem Lager angezogenen Rolle *r* verläuft. Durch Verstellungsvorrichtungen lässt sich der Ansatzwinkel des elastischen Bandes am Hebel, durch passende Drehung der

[1]) Statt dessen kann auch eine metallene Spiralfeder benutzt werden.

Rolle die Spannung desselben verändern. Der elastische Zug wird auch hier bei der Zusammenziehung des Muskels ein zunehmender sein; diese Zunahme wird aber dadurch compensirt, dass in Folge der schrägen Befestigungsweise des Kautschukbandes die Zugrichtung eine umso ungünstigere wird, je stärker der Hebel gehoben wird. Grützner hat bewiesen, dass man mit Hilfe dieser Vorrichtung bei Innehaltung eines bestimmten Zugwinkels dem zuckenden Muskel eine stets gleichbleibende Spannung ertheilen kann. Andererseits kann man die Anordnung auch so treffen, dass der Muskel mit zunehmender oder auch mit abnehmender Kraft gedehnt wird. Ersteres wird der Fall sein, wenn der Winkel, den das elastische Band mit dem Hebel macht, sich dem Rechten nähert, letzteres dagegen, wenn er sehr spitz wird.

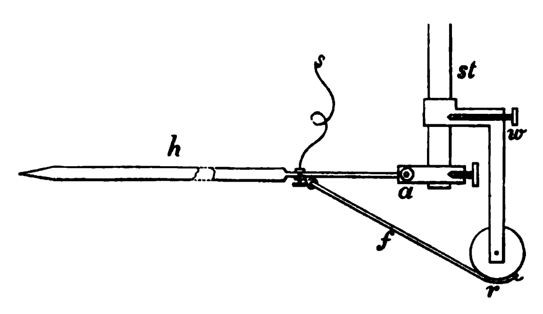


Fig. 241.
Elastischer Muskelhebel für isotonische Zuckungen nach Grützner.

4. Geradführung des Muskelhebels.

Marey sowohl als Fick zeichnen ihre Muskelcurven so auf, dass der fast tangential zur Schreibfläche aufgestellte Schreibhebel mittelst einer leicht abgebogenen, schwach federnden Zeichenspitze den berussten Cylinder berührt. Die Ordinaten, auf welche die Curve zu beziehen ist, sind demgemäss nicht geradlinig, sondern bogenförmig. Beim Helmholtz'schen und den ihm nachgeahmten Schreibapparaten war dagegen dafür Sorge getragen, dass die Zeichenspitze, frontal der Schreibfläche angelegt, nur in streng verticaler Richtung auf und abgehen konnte.

Man könnte denken, dass aus der Vernachlässigung der Stirnschreibung bei den neueren Schreibmethoden ein Schaden für die Form der gezeichneten Curven erwachsen möchte. Dies ist indess kaum der Fall, wenn man das Princip befolgt, sich auf geringe Vergrösserungen zu beschränken, da erst bei stärkeren Erhebungen der Schreibspitze die Bogenabweichung eine merkliche Grösse erhält. Gibt man ausserdem, soweit dies sonst erlaubt ist, dem Schreibhebel eine grosse Länge, so geht für niedrige Aufzeichnungen der Ordinatenbogen geradezu in eine gerade Linie über. Ferner aber ist aus Gründen, die Rollett

entwickelt hat, der Fehler, den man begeht, wenn man die mit Tangentialschreibung erhaltene Muskelcurve ohne weiteres auf rechtwinkelige Coordinaten bezieht, überhaupt an sich ein verschwindend kleiner.

Man wird endlich sich daran erinnern müssen, dass auch bei Anwendung der üblichen Geradführungen Fehler begangen werden; die Zuckungscurve kann hier nämlich deshalb kein ebenmässig vergrössertes Bild der Zuckung geben, weil dem Princip der Stirnschreibung zufolge mit zunehmender Excursionsgrösse die Hebellänge sich etwas vergrössert.

Wählt man dennoch einen mit Geradführung versehenen Schreibhebel, so hat man darauf zu achten, dass dadurch die Masse des Hebels nicht allzusehr vermehrt werde. Über die dazu tauglichen Vorrichtungen ist in einem früheren Abschnitt (s. Allg. Theil) berichtet worden.

Als geradezu überflüssig muss die Stirnschreibung für den Fall angesehen werden, dass es dem Experimentator gar nicht um die Gewinnung einer genaueren Zuckungscurve zu thun ist, sondern dass er, wie dies z. B. bei Latenzzeitbestimmungen u. ä. der Fall ist, nur auf die Registrirung des Zuckungs*beginnes* Werth legt. Hier wird ein einfacher, mit tangential schreibender Spitze versehener, langer Schreibhebel die besten Dienste leisten. Man wird in solchen Fällen ohne Bedenken die Vergrösserung dadurch steigern dürfen, dass man den Muskelansatz nahe an der Hebelaxe anbringt. In der That sind manche Experimentatoren in solchen Fällen mit Vortheil bis zu einer 50fachen Hebelvergrösserung gegangen.

5. *Das Überlastungsverfahren.*

Hier dürfte noch eine kurze Bemerkung über die von *Helmholtz* eingeführte *Methode der Überlastung* am Platze sein. In manchen Fällen hat man den Wunsch, den schreibenden Muskel erst dann durch ein Gewicht zu spannen, wenn er thätig wird, ihm aber so lange, als er in Ruhe bleibt, die Last zu ersparen.

Um dies zu bewerkstelligen, hat man nur nöthig, den Hebel, an welchem der Muskel zieht, und an dem zugleich das zu hebende Gewicht hängt, so zu *unterstützen*, dass während der Muskelruhe das Gewicht von der Unterstützungsfläche getragen wird und erst dann von ihr sich abhebt und dem Muskel überantwortet wird, wenn derselbe sich zu verkürzen beginnt. Man hat dies Verfahren als *Überlastungsverfahren* bezeichnet. Fig. 242 gibt eine schematische Darstellung der hierbei zu treffenden Einrichtung.

Der Muskel ist hier an einem steifen Schreibhebel befestigt. Das überlastende Gewicht ist vermittelst eines Fadens um die Axe des Hebels geschlungen. Während der Ruhe des Muskels wird dieses Gewicht unterstützt erhalten durch einen unterhalb des Muskelansatzes befindlichen Anschlag. Diesen bildet im vorliegenden Falle eine Stellschraube. Ihre Anwendung bietet den Vortheil, dass man die Unterstützungsdauer beliebig verändern kann. Man kann nämlich die Schraube so einstellen, dass der Muskel durch das Gewicht in demselben Augenblick gespannt wird, in welchem er die leiseste Zusammenziehung macht; man kann sie aber auch so hoch drehen, dass der Muskel erst nach Erreichung eines mehr oder weniger vorgeschrittenen Verkürzungsstadiums die Last empfängt. In Wahrheit

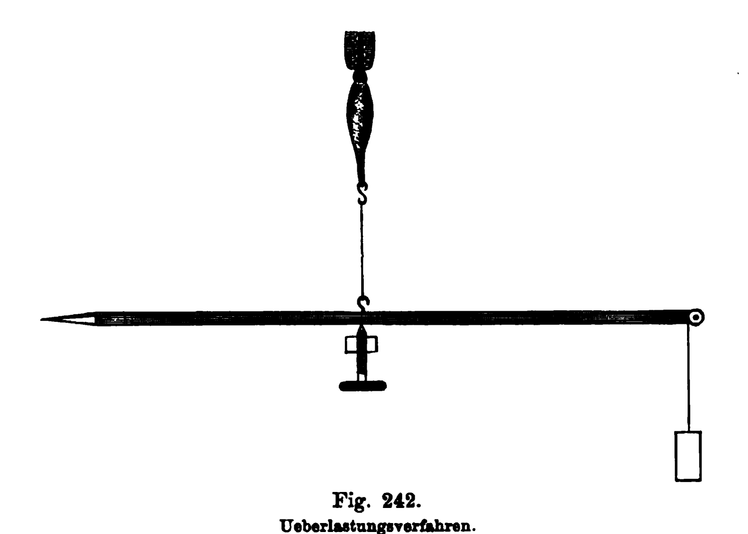


Fig. 242.
Ueberlastungsverfahren.

ist der Muskel bei allen diesen Anordnungen auch während der Ruhe nicht völlig unbelastet, da ja der immerhin eine gewisse Belastung repräsentirende Schreibhebel an ihm hängt.

Auf die Fälle, in denen das Ueberlastungsverfahren Anwendung zu finden hat, kann hier nicht näher eingegangen werden.

6. Aufzeichnung der Muskelcontractionen mittelst des Verfahrens der Luftübertragung.

Marey hat zur Aufzeichnung von Muskelcontractionen noch einen Apparat angegeben, den man mit in die Classe der elastischen Schreibvorrichtungen rechnen könnte. Es ist das sein Transmissionsmyograph.

Construirt nach der von **Buisson** zuerst eingeführten, von **Marey** sorgfältig ausgebildeten und für die verschiedensten Zwecke eingerichteten Methode, bietet dieser Muskelzeichner den in manchen Fällen, besonders aber bei Untersuchungen am lebenden oder wenigstens sich im Besitz seiner natürlichen Blutströmung befindenden Thier nicht unerheblichen Vortheil dar, dass man den Schreibhebel in beliebiger

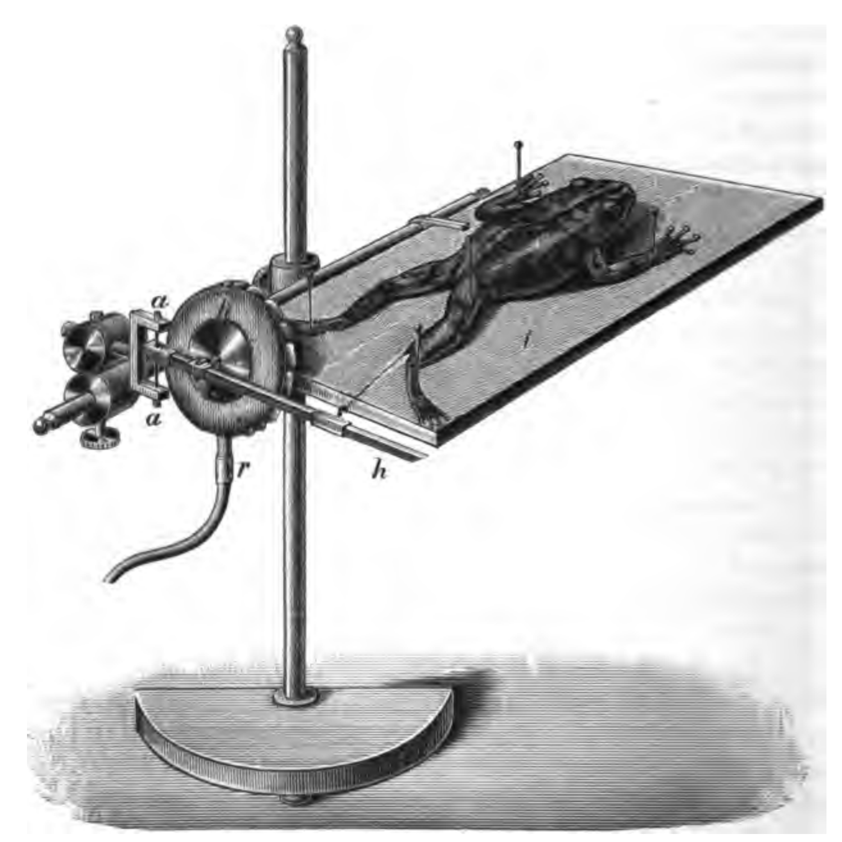


Fig. 243.
Transmissionsmyograph von Marey. ($^1/_3$ nat. Gr.).

Entfernung vom Präparat aufstellen, das letztere also mit Bequemlichkeit den verschiedensten äusseren Bedingungen unterwerfen kann, ohne dabei durch die Zeichenvorrichtung gestört zu werden.

Die beistehende Figur 243 erläutert die leicht verständliche Einrichtung des Transmissionsmyographen. Die Tischplatte *t* ist auf einem schweren Stativ verstellbar angebracht. Auf sie kommt der Frosch zu liegen, den man durch Bänder oder Nadeln befestigt. Die

freigelegte und durchschnittene Achillessehne ist durch einen Seidenfaden mit einer jener Aufnahmekapseln (*k*) verbunden, wie sie Marey auch zu anderen Zwecken benutzt. Die Kapsel, welche in ihrem Innern eine schwache Spiralfeder enthält, durch die ihre Membran etwas vorgebuchtet wird, ist mit einem in der Axe *a* beweglichen soliden Holzhebel *h* versehen. Eine auf diesem verschiebbare Metallhülse trägt ein Häkchen, an welches man den Seidenfaden anknüpft. Durch horizontale Verschiebung der Kapsel gibt man dem Muskel die zweckmässige Spannung. Verkürzt sich der Muskel, so übt der Hebel einen entsprechenden Druck auf die Kapsel aus; und wenn diese durch das Abzugsrohr *r* und einen Gummischlauch mit einer Marey'schen Zeichenkapsel in Verbindung gesetzt ist, so wird deren Schreibhebel den erhaltenen Impuls auf eine bewegte Trommel aufzeichnen können.

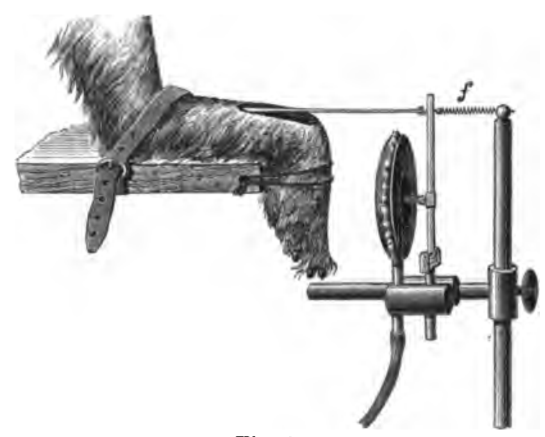


Fig. 244.
Transmissionsmyograph nach François-Franck.

Natürlich ist die beschriebene Vorrichtung auch leicht zur Aufzeichnung der Zusammenziehungen isolirter Muskeln zu verwenden. Man befestigt dann den Muskel in einer Zange und stellt ihm gegenüber die Aufnahmekapsel auf.

Oben wurden zwei Zeichnungen mitgetheilt (s. Fig. 118 auf S. 147), die vom ausgeschnittenen Wadenmuskel des Frosches auf diese Weise gewonnen worden sind. Die eine stellt eine Zuckungs-, die andere eine Tetanuscurve dar, beide freilich dadurch complicirt, dass durch ein an jenem Orte beschriebenes Verfahren chronoskopische Zacken auf ihnen sichtbar gemacht sind.

Der Transmissionsmyograph lässt sich auch sehr gut für das Studium der Muskelcontraction am lebenden Warmblüter benutzen.

Fig. 244 zeigt eine Vorrichtung, die von François-Franck angegeben und von ihm wie von anderen Forschern beim Hunde öfters angewendet worden ist. Zur ausreichenden Spannung des Muskels dient hier die Spiralfeder *f*, die in der dem Muskelzuge entgegengesetzten Richtung am Kapselhebel wirkt.

Zweites Capitel.

Aufzeichnung der Muskelspannung.

Die bisher aufgeführten Methoden der Myographie dienen sämmtlich der Aufschreibung der Muskelverkürzung. Bei isotonischem Zuckungsverlauf sind die Muskelcurven der Ausdruck für die Längenänderung des Muskels bei gleichbleibender Spannung. Für die Lösung gewisser Fragen hat es aber auch ein Interesse, den Ablauf der während der Zuckung entstehenden Veränderungen der Spannung zu kennen, während die Länge des Muskels dieselbe bleibt.

Fick hat Curven, welche das Ansteigen und das Wiederabsinken der Muskelspannung im Verlauf der Thätigkeitszeit bei Ausschliessung der Verkürzung darstellen, als isometrische bezeichnet; man könnte sie auch Kraftcurven nennen. Zur Aufzeichnung solcher Curven lässt er den Muskel an einer kräftigen Feder angreifen, die seinem Verkürzungsbestreben das Gleichgewicht hält. Wird der Muskel gereizt, so sucht er die Feder durchzubiegen; da sie aber stark ist, gibt sie nur wenig nach, und der Muskel verkürzt sich dabei nur um Grössen, die zu vernachlässigen sind. Die Feder, die am besten aus einem Stahl- oder Glasstreifen besteht, ist mit einem langen Schreibhebel in Verbindung, der ihre geringen Excursionen in starker Vergrösserung aufzeichnet.

Die gewonnenen Curven entsprechen also dem zeitlichen Ablauf der Muskelspannung. Um die Hebelausschläge ihrem Kraftwerthe nach beurtheilen zu können, construirt man vor dem Versuch eine Spannungsscala, indem man die Feder successive durch bekannte Gewichte spannt und die den einzelnen Gewichten entsprechenden Hebelstellungen aufzeichnet.

Solche Vorrichtungen lassen sich, wie ebenfalls Fick gezeigt hat, auch zur Untersuchung der Muskeln am lebenden Menschen benutzen, was umso werthvoller ist, als die sonstige Analyse des Vorganges der Muskelcontraction hier auf die grössten Schwierigkeiten stösst.

Auch Bernstein hat einen Apparat construirt, dem dieselbe Aufgabe gestellt ist, wie dem Fick'schen Spannungsmesser. Er ist eine Art von hydrostatischer Wage. Die Spannung drückt sich hier in Höhen einer Quecksilbersäule aus, deren Veränderungen ein Schwimmer aufschreibt.

Eine dem Fick'schen Instrument ähnliche Einrichtung hat kürzlich Gréhant als Myographe dynamométrique beschrieben und zur graphischen Messung der Muskelkraft beim Menschen und bei Thieren verwendet.

Es ist anzunehmen, dass in Zukunft von derartigen kraftmessenden Apparaten ein noch weit ausgedehnterer Gebrauch gemacht werden wird, als dies bisher der Fall gewesen ist.

Drittes Capitel.

Aufzeichnung der Dickenveränderung thätiger Muskeln.

Auch die bei der Zusammenziehung eintretende Dickenzunahme des Muskels kann Gegenstand der graphischen Untersuchung werden.

Ein einfacher leichter Fühlhebel, welchen man über den auf einer festen Unterlage ruhenden Muskel legt, macht einen Ausschlag, wenn der Muskel sich zusammenzieht und dabei seinen Querschnitt verändert. Lässt man den Hebel vermittelst einer Schreibspitze auf eine bewegte Fläche zeichnen, so erhält man eine graphische Darstelluug der Dickenänderung. Wenn man zwei Fühlhebel möglichst entfernt von einander auf den Muskel auflegt und dafür Sorge trägt, dass die Zeichenspitzen beider genau übereinander oder in bestimmtem Horizontalabstand von einander die berusste Trommel berühren, so kann man, wenn der Muskel an einem seiner beiden Enden durch einen Inductionsschlag gereizt wird, durch die dann aufgeschriebenen Dickencurven die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Muskel kennen lernen. Jeder Hebel schlägt nämlich dann aus, wenn die Contractionswelle unter ihm durchpassirt; der der Reizstelle nähere erhebt sich also früher als der entferntere, und die beiden Verdickungscurven werden gegen einander verschoben sein um einen Werth, der derjenigen Zeit entspricht, welche die Welle brauchte, um von der ersten Hebelstelle bis zur zweiten sich fortzupflanzen.

Diese Methode hat zuerst Aeby benutzt. Er verwendete Fühlhebel, die nach dem Princip des am Helmholtz'schen Myographion befindlichen Zughebels construirt, also mit Stirnschreibung versehen waren. Letztere ist für Versuche dieser Art sehr zu empfehlen; doch wird man Zeichenvorrichtungen von geringerem Gewicht vorziehen.

Den Zeichenhebel, der die Dickenänderung eines Muskels verzeichnen soll, kann man aber auch in einer anderen Weise am Muskel anbringen. Fig. 245 möge erläutern, wie man hierbei verfährt.

Der Muskel liegt hier auf einem schmalen, festen Tischchen. Eine den Schenkelknochen fassende Zange *z* fixirt sein eines Ende; das Sehnenende steht durch den über eine Rolle gelegten Faden *f* mit einer beliebig zu belastenden Gewichtsschale *g* in Verbindung, so dass der Muskel in passender Spannung erhalten werden kann. Auf dem Muskel lastet ein leichtes, aus dünnem Blech oder aus Kammmasse gearbeitetes Rähmchen, durch welches er nebst seinem Tischchen gewissermaassen hindurchgesteckt ist. Dieses Rähmchen trägt an seiner Unterseite ein Häkchen und an diesem hängt, durch einen Faden mit ihm ver-

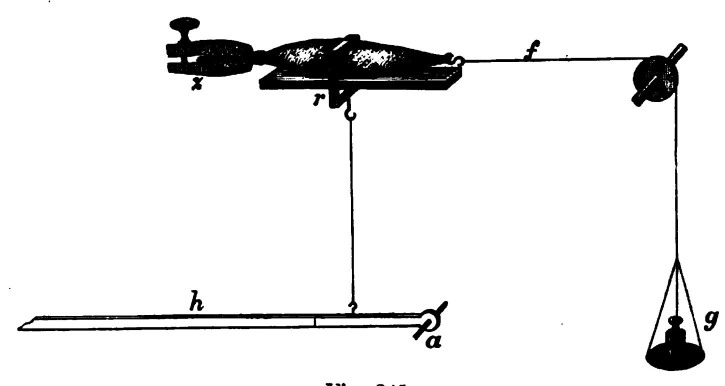


Fig. 245.
Aufzeichnung der Dickenzunahme des Muskels

bunden, der um die Axe *a* drehbare Schreibhebel *h*. Zieht sich der Muskel zusammen und verdickt er sich, so hebt er das Rähmchen in die Höhe; diese Hebung überträgt sich auf den Schreibhebel, der sie vergrössert wiedergibt.

Sehr zweckmässig ist es, den Muskel bei Versuchen dieser Art nach dem Vorgang von Aeby zwischen zwei senkrecht zu seiner Faserung seitenständig angebrachte und gegeneinander verstellbare Backen zu pressen. Auf die Bewegung des Rahmens wirken nämlich bei der Verdickung nur die übereinander liegenden Fasern des Muskels ein, während horizontal nebeneinander gelegene unwirksam bleiben. Die Verdickung eines grossen Theiles der Muskelfasern ginge also für die Aufzeichnung verloren, wenn man nicht durch das angegebene Verfahren dafür sorgte, dass möglichst viele Fasern übereinander zu liegen kommen.

Zum Studium der Muskelverdickung kann man auch das Luftübertragungsverfahren benutzen. Zu diesem Zwecke bringt man den zu untersuchenden, isolirten Muskel zwischen die hier aus einem Metallplättchen bestehende Pelotte einer Marey'schen Luftkapsel und ein gegen die Pelotte verstellbares unnachgiebiges Widerlager. Die Aufnahmekapsel hat man dann nur mit einer Zeichenkapsel zu verbinden, um jede Verdickung des Muskels sich aufschreiben zu sehen. Marey hat einen Apparat dieser Art construirt, den er als Pince myographique bezeichnet; die beiden Branchen der zangenartigen Vorrichtung, zwischen denen der Muskel hier gefasst wird, leiten ihm zugleich den elektrischen Reiz zu.

Ein ähnliches Verfahren kann auch dazu benutzt werden, die Zusammenziehung menschlicher Muskeln zur graphischen Darstellung zu bringen. Da sich die Längenänderungen derselben kaum in befriedigender Weise darstellen lassen, so ist man hier genöthigt, sich auf die Aufzeichnung der Querschnittsänderungen zu beschränken.

Auch hier setzt man auf den zu untersuchenden Muskel, der natürlich oberflächlich gelegen sein muss, eine Marey'sche Aufnahmekapsel. Es ist zweckmässig, sie durch ein Band u. ä. fest an dem entsprechenden Körpertheile zu fixiren. Bei der Untersuchung des M. biceps brachii kann man die Kapsel an der Innenfläche eines Armbandes anbringen, das man um den Oberarm herumlegt.

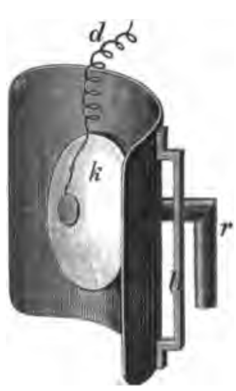


Fig. 246.
Vorrichtung zur Aufzeichnung der Contraction menschlicher Muskeln nach Marey.

Fig. 246 gibt die von Marey zu diesem Zwecke benutzte Vorrichtung wieder. Mit der Innenfläche der hier dargestellten Blechhülse ist die Luftkapsel *k* verbunden, deren Abzugsrohr *r* durch einen Gummischlauch zu einer Schreibkapsel führt. Durch den Bügel *b* wird ein Band gezogen, das, nachdem man die Kapsel auf den zu untersuchenden Muskel, z. B. den Biceps, aufgesetzt hat, um den Arm herumgelegt und durch eine Schnalle befestigt wird. Durch eine im Innern der Kapsel befindliche Sprungfeder ist die Kautschukmembran derselben conisch vorgetrieben. Das auf ihr befestigte Metallplättchen steht durch den Zuleitungsdraht *d* in Verbindung mit dem einen Pole des elektrischen Reizapparates. Die andere Elektrode wird in der Hand gehalten oder auf irgend einen anderen entfernteren Körpertheil aufgesetzt.

In neuerer Zeit ist im Marey'schen Laboratorium eine Modification dieses Dickenmyographen benutzt worden. Bei dem neuen Instrument befindet sich zwischen der Aufnahmekapsel und dem Muskel eine Feder, deren Druck sich, ähnlich wie beim Sphygmographen, reguliren lässt.

Man kann sich, wie dies v. Kries gethan hat, zum Studium menschlicher Muskeln auch eines directen Schreibapparates bedienen, der nach Art eines Sphygmographen construirt ist.

Viertes Capitel.

Graphische Darstellung der elastischen Eigenschaften des Muskels.

Mit Hilfe der zur Aufzeichnung der Muskelverkürzung benutzten Vorrichtungen lässt sich auch die Elasticität des Muskels graphisch untersuchen. Man braucht dazu ausser einer bewegten Registrirfläche einen Schreibapparat, der die durch wechselnde Belastung des Muskels entstehenden Längenänderungen desselben vergrössert aufzeichnet.

Am besten bedient man sich hier eines soliden, mit Geradführung versehenen Schreibwerkes. Ein Helmholtz-Pflüger'scher Muskelhebel mit guter Aequilibrirung des schweren Gehänges leistet hier gute Dienste.

v. Wittich und Marey scheinen die Ersten gewesen zu sein, die beim Studium der Muskeldehnung an Stelle der früher benutzten Beobachtungsweisen die Selbstregistrirungsmethode angewendet haben. Das von ihnen eingeschlagene Verfahren ist ein sehr einfaches und empfiehlt sich ausserdem durch die Uebersichtlichkeit des Versuchsergebnisses besonders für Schulversuche.

Der Muskel schreibt auf einen mit mässiger Geschwindigkeit rotirenden Cylinder zunächst bei der Belastung 0 die Nulllinie. Hat die Trommel eine Umdrehung vollendet, so belastet man, ohne sie anzuhalten, den Muskel durch ein Gewicht p; nach der zweiten Umdrehung fügt man ein zweites ebenso grosses Gewicht hinzu; nach der dritten wird er mit $3\,p$, nach der vierten mit $4\,p$ belastet u. s. f. Die diesen verschiedenen Lasten entsprechenden Muskellängen schreiben sich natürlich unter der Nulllinie auf, so dass man ein System von Parallelen erhält, deren Abstände von einander die durch die successiven Belastungszuwachse bewirkten Dehnungszuwachse dar-

stellen. Die beistehende Fig. 247 ist auf diese Weise gewonnen. Die Gewichte wuchsen von 0 bis 150 *gr*; nach jeder Umdrehung der Trommel wurde die Belastung um 10 *gr* vermehrt. Man erkennt sofort, was übrigens auch aus den von v. Wittich sowie von Marey mitgetheilten Zeichnungen hervorgeht, dass den kleineren Belastungen verhältnismässig grössere Dehnungen entsprechen, als den grösseren.

In sehr einfacher Weise lässt sich aus einem solchen Liniensystem die Dehnungscurve ableiten. Theilt man nämlich ein Stück der Abscissenaxe in *n* gleiche Theile, welche die einander gleichen Belastungszuwachse ausdrücken sollen, fällt man dann von jedem der Theilpunkte aus eine Senkrechte auf die dem betreffenden Gewicht entsprechende Dehnungslinie, so hat man nur die Schnittpunkte mit diesen Linien unter einander zu verbinden, um die verlangte Curve zu gewinnen.



Fig. 247.
Dehnung eines Froschmuskels. Sprungweise wachsende Belastung.

Ein anderes von Marey angegebenes Verfahren erlaubt die directe Aufschreibung der Dehnungscurve. Hier muss man einen sehr langsam rotirenden Registrircylinder anwenden. Sorgt man dafür, dass genau proportional der fortschreitenden Umdrehung desselben das den Muskel belastende Gewicht wächst, so schreibt der Muskel eine Curve an, deren Ordinaten seinen Längen, deren Abscissen den Gewichten entsprechen. Das ist aber die Dehnungscurve.

Um den Versuch auszuführen, hängt man an den Muskel ein zunächst genau zu äquilibrirendes Becherglas. Ueber diesem stellt man ein mit Quecksilber gefülltes, mit einem Ausflussrohr versehenes Gefäss so auf, dass sich aus ihm ein dünner, ganz gleichmässiger Strahl von Quecksilber in das Becherglas ergiesst. Ist die Umdrehungsgeschwindigkeit des Cylinders eine gleichmässige, so wachsen die dem Muskel angehängten Lasten proportional der Umdrehung und die Zeitabscissen drücken zugleich den Belastungszuwachs aus.

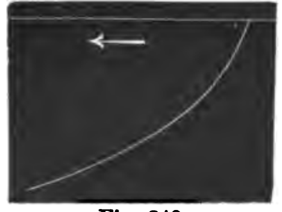


Fig. 248.
Dehnungscurve des Musc. gastrocnemius des Frosches.

Fig. 248 gibt eine auf diese Art gezeichnete Dehnungscurve wieder. Das oben erwähnte Gesetz der Muskeldehnung lässt sich aus ihr sofort erkennen

Versieht man, wie dies Marey that, das zur Aufnahme der belastenden Quecksilbermasse dienende Gefäss mit einem Ausfluss, so kann man den gedehnten Muskel wieder progressiv von seiner Last befreien und ihn als Gegenstück zur Dehnungscurve seine Entlastungscurve aufschreiben lassen.

In eigenartiger Weise erreicht Blix die Aufzeichnung der Muskeldehnung. Seinen sehr sinnreichen Apparat stellt Fig. 249 (nach einer schematischen Zeichnung, die ich Fick entlehne) dar.

Auch hier verschiebt sich die Registrirfläche und der am Muskel befestigte Zeichenstift mit derselben Geschwindigkeit gegeneinander, mit welcher die Belastung anwächst. Der bewegte Theil ist aber hier nicht, wie sonst meistens, die Registrirfläche, sondern der Schreibapparat.

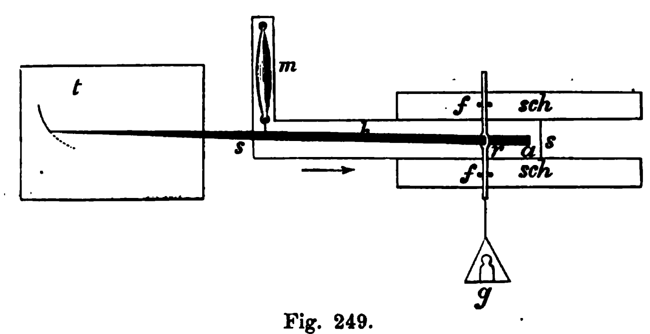


Fig. 249.
Vorrichtung von Blix zur Aufzeichnung der Dehnungscurve des Muskels, nach Fick.

Zwischen den Schienen *sch sch* gleitet nämlich der Schlitten *s s*; an diesem Schlitten ist bei *a* das Axenlager des Schreibhebels *h* angebracht, an welchem, ziemlich entfernt von der Axe, der mit seinem oberen Ende an einem senkrechten Fortsatz des Schlittens befestigte Muskel angreift. Die Last *g* ist vermittelst eines Ringes *r* an den Hebel angehängt; der Ring setzt sich in zwei Stäbchen fort, die durch die Führungen *f* und *f'* gehindert sind, seitliche Schwankungen zu machen. Bewegt man (mit der Hand) den Schlitten in der Richtung des Pfeiles, so rückt der Ring, also auch die mit ihm verbundene Last, sich auf dem Hebel verschiebend, dem Muskel immer näher und näher. Dadurch wächst natürlich die Kraft, mit welcher der Muskel belastet wird. In demselben Maasse nun, in welchem die Belastung des Muskels zunimmt, schreitet auch die Zeichenspitze des Schreibhebels auf der zur Aufnahme der Zeichnung bestimmten Glastafel *t* fort. Die Abscissen der von der Schreibspitze aufgezeichneten

Curve entsprechen somit auch hier den dem Muskel angehängten Lasten.

Der Hauptvortheil, den der Blix'sche Apparat bietet, besteht darin, dass die Dehnungscurve in sehr kurzer Zeit, in weniger als in einer Secunde, gezeichnet werden kann. Das ist aber sehr wesentlich, weil man dadurch in den Stand gesetzt ist, die Dehnung eines in Tetanus versetzten Muskels zu zeichnen, ohne dass Ermüdungserscheinungen die Curve entstellen könnten.

Sachregister.

A.

B.

C.

D.

M.

N.

O.

P.

R.

S.

T.

U.

V.

W.

Z.

K. und k. Hofbuchdruckerei Karl Prochaska in Teschen.

